



сообщения
Объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

942/84

13/II-84

9-83-772

Л.С.Барабаш, В.П.Саранцев, В.А.Тимохин,
В.В.Чалышев

ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ
СО СЛОЖНЫМ ЗАКОНОМ
ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ
В СХЕМАХ ПИТАНИЯ КОМПРЕССОРА
КОЛЛЕКТИВНОГО УСКОРИТЕЛЯ

1983

ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации прототипа коллективного ускорителя тяжелых ионов показывает, что для успешного осуществления процесса сжатия колец необходимо учитывать переходные процессы в камере адгезатора при включении питания катушек ступеней сжатия. При заданных параметрах схем питания^{/1/} и выбранном варианте использования узлов^{/1/} адгезатора влияние переходных процессов сказывается на временах $200 \div 400$ мкс от момента включения питания катушек II и IV ступеней сжатия. На прототипе КУТИ исследовались и применялись различные схемные решения для подавления влияния на процесс сжатия переходных процессов. Последовательно с индуктивными нагрузками, например, включались индуктивные дроссели насыщения. Они позволяли получить удовлетворительную форму фронта импульса, но на короткие времена /до 50 мкс/; увеличение времени входа дросселя в насыщение связано с неоправданным увеличением массы его сердечника и потерями энергии в нем. Удачным схемным решением является применение шунтируемых индуктивных дросселей, включаемых последовательно с нагрузкой. Этот способ получения плавного фронта нарастания импульса тока обладает рядом преимуществ: точной регулировкой времени включения шунтирующего коммутатора всегда можно подобрать оптимальный режим работы ступеней сжатия; активные потери в медных обмотках индуктивного дросселя малы ввиду того, что дроссель работает ограниченное время /только в начале и в конце импульса/ и амплитудное значение тока через него невелико, снижаются требования к механической и электрической прочности изоляции обмоток дросселя.

Если учесть, что схема питания магнитообразующих катушек IV ступени сжатия работает в режиме шунтирования одной из катушек, то для нормальной работы всех групп тиристорных коммутаторов необходимо выполнить ряд требований, связанных в основном с обеспечением условий открывания и закрывания составных тиристорных коммутаторов.

СХЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ ТОКОВ В КАТУШКАХ II И IV СТУПЕНЕЙ СЖАТИЯ

Как указывалось выше, для получения плавного нарастания импульсного тока в катушках II и IV ступеней сжатия последовательно с катушками включаются шунтируемые индуктивные дроссели.

На рис.1 приведена схема питания II ступени сжатия, где С - накопительная емкость /90 мкФ/; Т₁ - основной коммутатор; Т_ш - шунтирующий коммутатор; L_{др} - индуктивный дроссель /4,5 мГн/; L_н - магнитообразующие катушки /2,2 мГн/; R₁, R₂ - активные сопротивления дросселя и катушек.

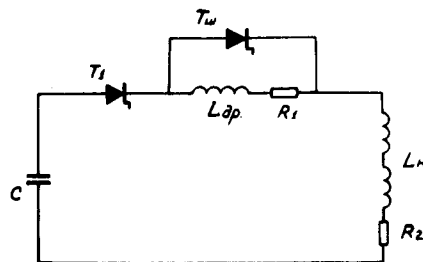


Рис. 1

До момента включения коммутатора $T_{ш}(t_0 < t < t_{ш})$ схема представляет собой обычный колебательный контур со слабым затуханием ($R_1 + R_2 \ll 2\rho$), $\rho = \sqrt{(L_n + L_{др})/C}$ и периодом $T \approx 2\pi\sqrt{(L_n + L_{др})C}$. При заданных значениях L_n и C период T будет определяться величиной $L_{др}$; следовательно, для обеспечения плавного нарастания тока в контуре необходимо выполнить условие $L_{др} \gg L_n$.

В момент времени $t = t_{ш}$ включается коммутатор $T_{ш}$. Ток дросселя $L_{др}$ переключается в цепь коммутатора $T_{ш}$, ток в нагрузке начинает возрастать. Выражения для токов в дросселе $J_{др}$ и нагрузке J_n имеют вид ^{/2/}:

$$J_n = \frac{U_0}{\rho_n} \cdot \frac{\cos(2\pi t_{ш}/T)}{\cos\phi} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t - t_{ш}}{T_{ш}} + \phi\right),$$

$$J_{др} = \frac{U_0}{\rho} \cdot \frac{\sin 2\pi \cdot t_{ш}}{T},$$

где $\rho_n = \sqrt{L_n/C}$, $T_{ш} = 2\pi\sqrt{L_n C}$, $\text{tg}\phi = \frac{T_n}{T} \cdot \text{tg} \frac{2\pi t_{ш}}{T}$, U_0 - зарядное напряжение на емкости C , $0 < t_{ш} < T/4$ выбирается из условий наименьшего влияния переходных процессов на электронно-ионное кольцо.

При заданных параметрах схемы питания и времени $T_{ш} \leq T/4$ процесс открывания тиристорov имеет ряд особенностей. В момент $t_{ш} = T/4$ напряжение на тиристорах коммутатора равно нулю, а в последующие моменты времени становится обратным. С приходом на тиристоры импульса запуска их структура насыщается носителями, сопротивление падает, но ток не может достигнуть величины тока удержания. При этом в схеме возможно возникновение колебаний напряжения с частотой $f \approx 10^5$ Гц. Колебательный контур образуют динамическая емкость тиристорov коммутатора C_d и индуктивные элементы схемы L . Колебания возникают также при запуске коммутатора шунтирования вблизи точки $t_{ш} = T/4$, когда на тиристорах есть положительное, но недостаточное для достижения тока удержания напряжение. Этот режим опасен для тиристорov коммутатора, т.к. колебания напряжения приводят к колебаниям тока с величиной dJ/dt , намного превышающей допустимые значения, хотя амплитуда этого тока невелика.

В таком режиме возможно открывание коммутатора в целом. Но оно будет сопровождаться большим разбросом открывания отдельных тиристорov по времени, что приведет к неравномерному распределению напряжения на них и значительным перенапряжениям на тех тиристорах, которые открываются последними. Коммутируемая энергия защитных элементов /симметричных ограничителей напряжения/ также может превысить допустимое значение, что приведет к выходу последних из строя.

Режим запуска коммутаторov при низких напряжениях опасен еще тем, что паразитные колебания в контуре $C_d \sim L$ накладываются на фронт нарастания основного тока и приводят к выводу из строя тиристорov.

В схемах питания с шунтируемым дросселем такой режим может иметь лишь случайный характер /сбой в системе синхронизации, наводки на управляющие кабели/.

Шунтирование коммутаторov небольшой емкостью /2 ÷ 4/ мкФ существенно облегчает условия открывания тиристорov, т.к. ток разряда емкости складывается с нарастающим током и суммарный ток превышает величину тока удержания. При этом необходимо принять меры, чтобы производная тока разряда шунтирующей емкости не превышала допустимого значения.

Схема питания катушек IV ступени сжатия приведена на рис.2,

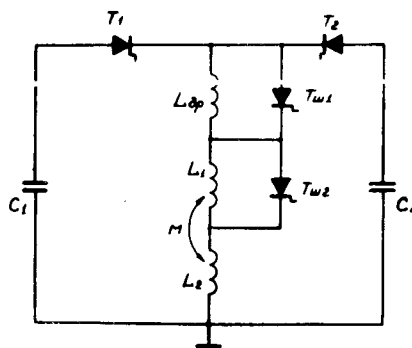


Рис. 2

где $C_1 = C_2 = 115$ мкФ - накопительные емкости; $L_{др} = 4,5$ мГн - шунтируемый дроссель; $L_n = L_1 + L_2 + 2M$ - индуктивная нагрузка /2,2 мГн/; L_1, L_2 - индуктивности катушек; M - коэффициент взаимной индукции; T_1, T_2 - основные коммутаторы; $T_{ш1}$ - коммутатор шунтирования дросселя; $T_{ш2}$ - коммутатор шунтирования катушки IV ступени сжатия.

Расчет схемы приведен в работе ^{/2/}. На рис.3 приведена осциллограмма тока в нагрузке, который имеет сложную зависимость во

времени. Форма импульса и амплитудные значения токов в индуктивных элементах зависят от времени включения шунтирующих коммутаторov $T_{ш1}$ и $T_{ш2}$.

На рис.4,5,6 показаны осциллограммы токов в шунтируемом дросселе, шунтируемой магнитообразующей катушке и шунтирующем коммутаторе $T_{ш2}$. Суперпозиция этих токов дает осциллограмму, показанную на рис.3. Ток в шунтируемой катушке L_1 изменяется также по сложному закону из-за наличия индуктивной связи между катушками L_1 и L_2 /вершина импульса имеет вогнутую форму/.

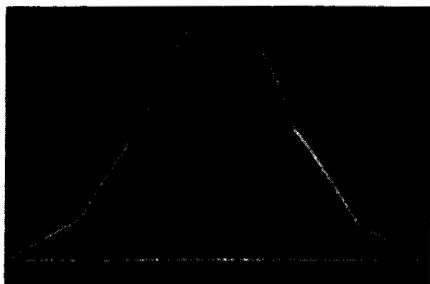


Рис. 3

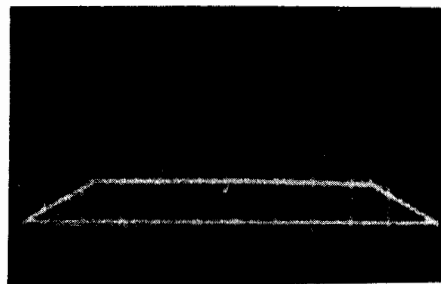


Рис. 4

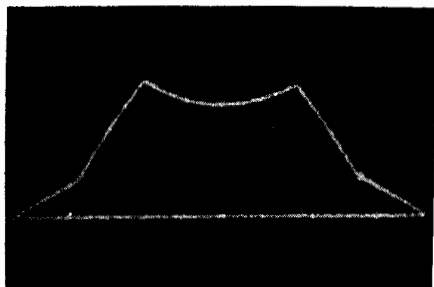


Рис. 5

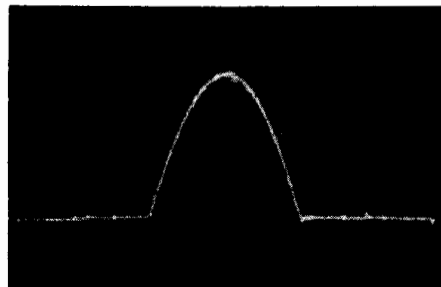


Рис. 6

На рис.7 приведена осциллограмма напряжения на магнитообразующих катушках. Видно, как происходит деление напряжения между шунтируемыми и нешунтируемыми элементами. Отчетливо видны коммутационные броски напряжения при закрывании тиристоров, способы подавления которых приведены в работе ^{3/}.

Особенности работы коммутатора $T_{ш1}$ рассмотрены на примере схемы рис.1.

Коммутатор $T_{ш2}$ работает в более напряженном режиме, чем $T_{ш1}$, т.к. диапазон времени включения $t_{ш2}$ находится вблизи максимума тока в катушках L_1, L_2 и минимального прямого напряжения на нем; этот коммутатор укомплектован более быстродействующими тиристорами, нежели $T_{ш1}$.

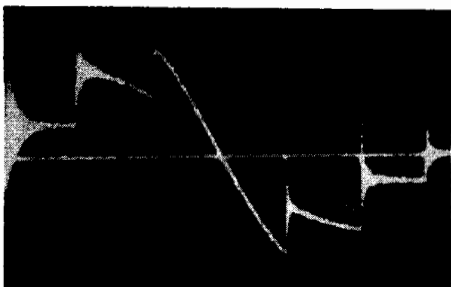


Рис. 7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Схемы формирования в магнитообразующих катушках адгезатора ускорителя тяжелых ионов импульсов тока со сложным законом изменения во времени прошли длительную проверку на прототипе КУТИ.

Высокие эксплуатационные показатели позволили принять эти схемы в качестве основных при проектировании создаваемого в ОНМУ ОИЯИ ускорителя тяжелых ионов КУТИ-20 ^{4/}.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-8759, Дубна, 1975.
2. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р-10118, Дубна, 1976.
3. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7773, Дубна, 1974.
4. Саранцев В.П. ОИЯИ, Д9-82-664, Совещание по проблемам коллективного метода ускорения, с. 9, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 ноября 1983 года.

Барабаш Л.С. и др.

9-83-772

Формирование импульсных токов со сложным законом изменения во времени в схемах питания компрессора коллективного ускорителя

Рассмотрены схемы импульсного питания катушек компрессора коллективного ускорителя, с помощью которых получают импульсные токи со сложным законом изменения во времени. Описаны особенности работы тиристорных коммутаторов в приведенных схемах.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Barabash L.S. et al.

9-83-772

Forming of Impulse Currents with a Complicated Law of Variation in Time in Feed Circuits of a Collective Accelerator Compressor

Circuits of impulse feeding compressor coils of electron-ion rings which are used to obtain impulse currents with a complicated law of variation in time are considered. Some special features of operation of thyristor commutators in the circuits given are described.

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