

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

529/82

1/2-82

9-81-684

В.Г.Глущенко, И.А.Курсков, А.А.Смирнов

СИСТЕМА ПОДАВЛЕНИЯ
НИЗКОЧАСТОТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ
МАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОФАЗОТРОНА ОИЯИ

1981

В выпрямленном напряжении преобразователя, питающего обмотку возбуждения электромагнита синхροфазотрона /ЕЗ/, в режимах площадок /столов/ тока присутствуют составляющие частотой $/25 \div 50/$ Гц с результирующей амплитудой порядка 80В.

Эти пульсации в режиме медленного вывода частиц из синхροфазотрона вызывают неравномерность во времени тока пучка выведенных частиц, уменьшают эффективную длительность растяжки пучка, что удлиняет время проведения экспозиции. С целью устранения таких пульсаций разработана описываемая система подавления /СП/.

Пульсации в разных квадрантах синхροфазотрона имеют некоторый сдвиг по фазе, поэтому для каждого квадранта требуется своя СП.

В основу системы подавления был положен принцип компенсации низкочастотных пульсаций магнитного поля в рабочем зазоре электромагнита квадранта синхροфазотрона с помощью компенсационных обмоток, запитанных от силового транзисторного усилителя. Транзисторный усилитель управляется от витков связи, проложенных рядом с компенсационными обмотками, через корректирующие цепи.

На рис.1 приведена принципиальная схема СП.

ОСОБЕННОСТИ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ

1. Схема силового транзисторного усилителя

Усилитель работает по двухтактной схеме в классе А, пропуская в каждом плече ток до 30 А при напряжении питания 60 В. Оконечные каскады каждого плеча усилителя состоят из 20 транзисторов типа КТ 809-А, включенных по схеме с общим эмиттером. Транзисторы охлаждаются воздухом.

Компенсационные обмотки включены в плечи усилителя таким образом, что постоянные ампервитки обмоток разных плеч взаимно вычитаются, а переменные, складываясь, находятся в противофазе с ампервитками обмотки синхροфазотрона ЕЗ.

Последовательно с компенсационными обмотками включены дополнительные резисторы, величина которых на порядок больше индуктивного сопротивления обмоток компенсации. Это сделано для получения плоской амплитудно-частотной характеристики в диапазоне частот $/20 \div 150/$ Гц.

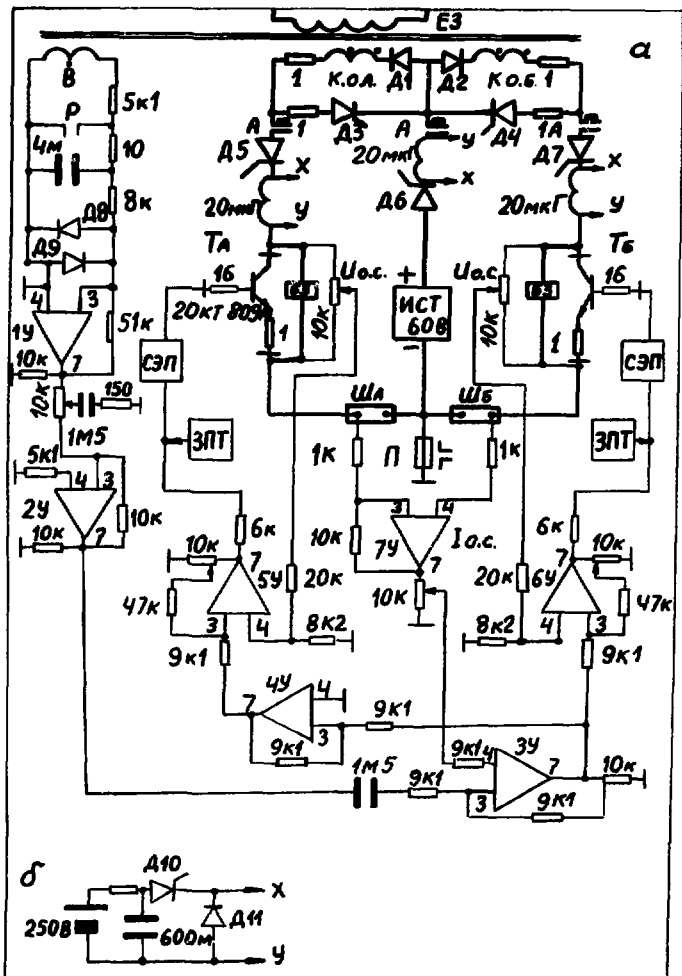


Рис. 1. Принципиальная схема системы подавления.

Стабильность работы усилителя обеспечивается контурами обратной связи по току $I_{0.c.}$ и напряжению $U_{0.c.}$, а также выбором рабочих точек плеч силового усилителя и составных транзисторов предоконечных каскадов. Обратная связь по току выполнена путем подключения входов дифференциального усилителя 7У к шунтам ША и ШБ, выход 7У подсоединен через суммирующий усилитель 3У и парафазные усилители 4У; 5У; 6У ко входам предоконечных каскадов. Обратная связь по напряжению осуществлена подключением к неинвертирующим входам усилителей 5У; 6У выходного напряжения силовых транзисторных усилителей.

В предоконечных каскадах усилителя использованы составные эмиттерные повторители /СЭП/, на входах которых суммируются сигналы от задатчика постоянного тока /ЗПТ/ и переменные пульсации.

2. Витки связи и корректирующие цепи

Низкочастотные пульсации магнитного поля составляют около 10^{-5} постоянной составляющей магнитной индукции. Вследствие малого приращения переменного поля значение интеграла от напряжения на витках связи пропорционально переменному магнитному потоку, или переменным ампервиткам намагничивания обмотки ЕЗ. Напряжение на витках связи по фазе отстает на 90° от потока намагничивания. Коррекция этого напряжения производится корректирующими цепями в соответствии с векторной диаграммой, показанной на рис. 2а. Здесь $U_{вх}$ 1У, 2У - входные напряжения усилителей 1У, 2У; $U_{вых}$ 1У, 2У, 3У, 6У - выходные напряжения усилителей; $U_{в.с.}$ - напряжение витков связи; $U_{т.А}$ и $U_{т.Б}$ - выходные напряжения транзисторов оконечного каскада плеча А и плеча Б; $\sim AW_{\Pi}$ - переменные ампервитки пульсаций; $\sim AW_{к.о.А}$ и $\sim AW_{к.о.Б}$ - переменные ампервитки компенсационных обмоток плеча А и плеча Б усилителя.

На рис. 2б представлена эквивалентная схема СП. Здесь U_{Π} - напряжение пульсаций на обмотке ЕЗ; $U_{комп.}$ - напряжение компенсации, вырабатываемое СП; $X_{s1} = 35 \text{ Ом}$ на $f = 50 \text{ Гц}$ - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки квадранта ЕЗ; X_0 - сопротивление шунта намагничивания, определенное из характеристики холостого хода - 159 Ом ; R' - активное сопротивление контура компенсации, приведенное к первичной цепи - 308 Ом .

Условием компенсации является равенство нулю узлового напряжения на реактансе X_0 . При этом справедливо:

$$\dot{U}_{\Pi} y_1 = \dot{U}_{комп.} y_k,$$

$$\dot{U}_{комп.} = \dot{U}_{\Pi} \cdot y_1 / y_k.$$

Здесь y_1 - проводимость первичной цепи до шунта намагничивания; y_k - проводимость цепи компенсации.

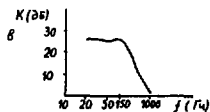
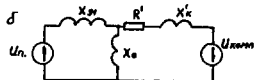
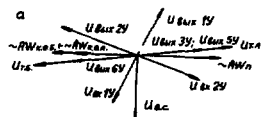


Рис. 2. а/ Векторная диаграмма; б/ эквивалентная схема; в/ амплитудно-частотная характеристика системы подавления.

3. Схема коммутации СП. Защитные устройства

Компенсационные обмотки подключаются к транзисторному усилителю с помощью тиристорных ключей $D_5; D_6; D_7$. Ключи включаются в начале стола тока, а выключаются в конце стола программным устройством преобразователя, питающего обмотку ЕЗ. Способ, использованный для выключения тиристорных ключей, показан на рис. 1б /приведена одна из трех схем/. Когда тиристор D_{10} включен, напряжение конденсатора 600 м приложено к катушке индуктивности 20 мкГ /рис. 1а/ последовательно с тиристорным ключом, который должен быть выключен. Через четверть периода собственных колебаний LC-контура напряжение на конденсаторе изменит полярность, откроется диод D_{11} и закроется D_{10} .

Рассеяние магнитной энергии, накапливаемой обмотками компенсации, осуществлено с помощью активных сопротивлений, подключаемых тиристорными разрядниками D_3 и D_4 . При запираении тиристорных ключей $D_5; D_6; D_7$ импульсом управления на время 2 мс открываются разрядники D_3 и D_4 . Они открываются также при возникновении перенапряжения на компенсационных обмотках свыше 200 В.

В СП предусмотрены следующие защитные устройства:

- а/ защита от превышения длительности стола тока, выполненная на основе геркона, реагирующего на протекание тока СП, и электронного реле времени;
- б/ защита от увеличения напряжения на витках связи в режиме стола тока;
- в/ максимальная токовая защита, выполненная с использованием трансформатора постоянного тока, включенного в токовую цепь диода D_8 .
- г/ защита от превышения напряжения на силовых транзисторах оконечного каскада усилителя /блок БЗ/, шунтирующая транзисторы при напряжении обратной полярности или при напряжении прямой полярности более 70 В;

д/ защита от замыкания на землю, выполненная с помощью заземления отрицательного полюса источника питания схемы через предохранитель П.

Все эти защиты воздействуют на закрытие тиристорных ключей $D_5; D_6; D_7$ и отключение автомата А.

4. Компенсационные обмотки

Компенсационные обмотки каждого плеча усилителя состоят из двух полуобмоток, намотанных на верхнем и нижнем полюсах электромагнита. Полуобмотки включены между собой последовательно и согласно. Такое выполнение компенсационных обмоток не вызывает асимметрии полей рассеяния полюсов электромагнита и тем самым исключает ложное срабатывание датчика защиты от витковых замыканий обмотки ЕЗ, который реагирует на асимметрию полей рассеяния полюсов /1/.

Диоды D_1 и D_2 исключают взаимосвязь компенсационных обмоток разных плеч усилителя от э.д.с. самоиндукции при быстрых изменениях тока в обмотке ЕЗ, например, в выпрямительном, инверторном режимах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СХЕМЫ

1. Возбуждались пульсации в квадранте ЕЗ от сети /50 Гц/, и от этой же сети подавалось напряжение на компенсационные обмотки. Степень подавления пульсаций составила 40 раз. При этом напряжение пульсаций - 18 В; ток пульсаций в квадранте - 0,67 А /действующие значения/; максимальный ток в компенсационной обмотке - 9,3 А.
2. Система стабилизации преобразователя питания синхροфазотрона обеспечивала точность поддержания уровня 15000 А/м в пределах $\pm 1,25$ А/м. Система подавления включалась на одном квадранте синхροфазотрона. Из сравнения осциллограмм на рис. 3а и рис. 3б видно, что степень подавления пульсаций частоты 50 Гц равна не менее 15 раз.
3. На рис. 2в приведена зависимость степени подавления пульсаций СП от частоты, снятая при питании обмотки ЕЗ одного квадранта синхροфазотрона напряжением 18 В от генератора звуковой частоты.

Из амплитудно-частотной характеристики замкнутой системы регулирования СП следует, что степень подавления в диапазоне частот /20 ÷ 50/ Гц составляет около 20 раз.

Полученные результаты по подавлению низкочастотных пульсаций в магнитном поле одного квадранта являются приемлемыми и служат основанием для создания системы подавления пульсаций синхροфазотрона.

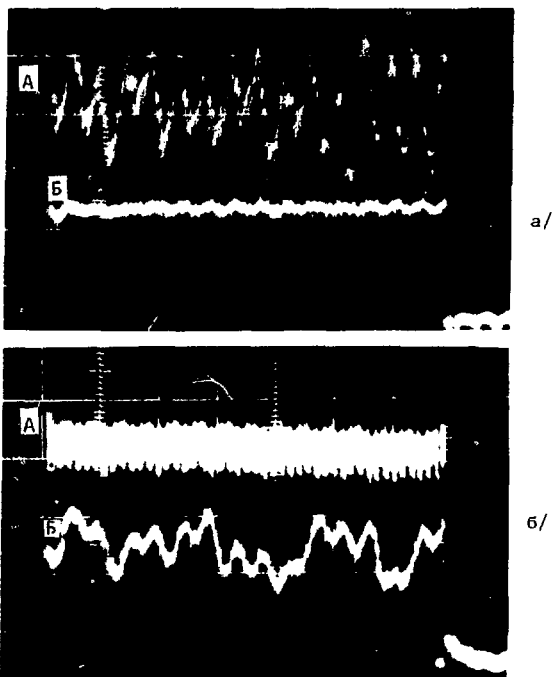


Рис.3. Осциллограммы подавления пульсаций: а/ СП не работает; б/ СП работает. Луч А - напряжение на витках связи квадранта синхрофазотрона. Луч Б - ток в плече усилителя фильтра. Развертка - 50 мс/см; Масштабы: I - 5 А/см; U- 24 В/см.

В заключение авторы пользуются случаем выразить свою благодарность И.Б.Иссинскому, А.З.Дорошенко, П.И.Никитаеву, Ш.З.Сайфулину, В.И.Волкову, Н.И.Куликову за постоянный интерес к работе и содействие в создании системы подавления низкочастотных пульсаций синхрофазотрона ОИЯИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глуценко В.Г., Никитаев М.И. ОИЯИ, 9-9031, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 октября 1981 года.