



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-167

P13-98-167

Г.Г.Казакова, В.В.Калиниченко, С.Б.Федоренко

КОМПЛЕКС СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ МОДЕЛИ  
КОЛЬЦЕВОГО ЦИКЛОТРОНА

1998

Система питания магнитных элементов электронной модели кольцевого циклотрона (ЭМКЦ) была создана в конце шестидесятых годов. В силовых источниках системы в качестве силовых преобразователей и регуляторов тока были использованы, соответственно, мотор-генераторы и транзисторные регуляторы [1]. В начале семидесятых годов была выполнена доработка системы питания ЭМКЦ, в результате которой один из мотор-генераторов был заменен статическим преобразователем [2]. Однако несколько мотор-генераторов остались в эксплуатации, остались также и транзисторные регуляторы, содержащие в общей сложности более двух тысяч силовых германиевых транзисторов. Для поддержания этой техники в рабочем состоянии требуется выполнение профилактических и других работ, производство которых в условиях обновления специалистов и сокращения их числа становится трудновыполнимой задачей.

Развитие в ЛЯП ОИЯИ исследований по эффекту расширения замкнутых орбит обусловило необходимость совершенствования основных систем ЭМКЦ [3]. В настоящей работе обсуждается новый комплекс силовых стабилизированных источников постоянного тока системы питания магнитных элементов ЭМКЦ. Комплекс не содержит мотор-генераторов и силовых транзисторных регуляторов, а также силовых шунтов с воздушным или масляным охлаждением. На рис.1 представлена упрощенная блок-схема обсуждаемого комплекса силовых стабилизированных источников постоянного тока. Комплекс содержит: 1 - коммутационный аппарат, 2 - блок управления и защиты, 3 - силовой трансформатор, 4, 5 и 6 - стабилизированные по току силовые статические преобразователи, 7, 8 и 9 - нагрузки. Использование одного силового трансформатора для питания трех преобразователей 4+6 обусловлено исключительно практическими соображениями: наличием силового трансформатора требуемой мощности, вторичная обмотка которого выполнена с отводами от каждого витка, что

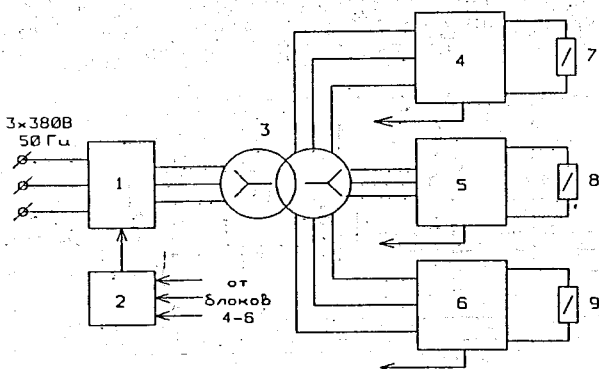


Рис.1. Упрощенная блок-схема нового комплекса силовых стабилизированных источников постоянного тока для питания магнитных элементов ЭМКЦ.

позволяет получить требуемые номинальные выходные напряжения преобразователей 4+6.

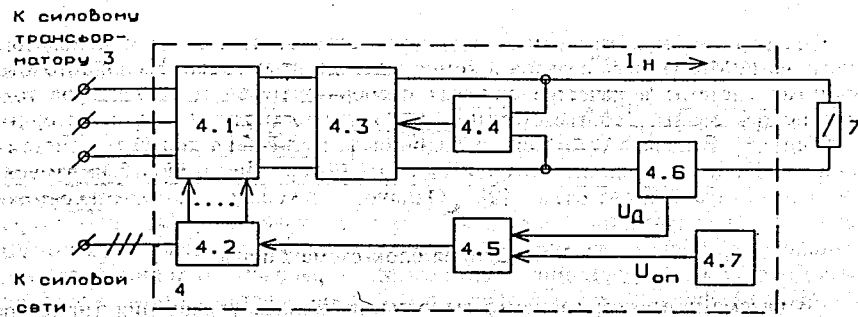


Рис.2. Упрощенная блок-схема стабилизированного преобразователя

Стабилизированные по току преобразователи 4+6 однотипны и выполнены по блок-схеме, приведенной на рис.2. Каждый из преобразователей 4+6 содержит: 4.1 - тиристорный управляемый выпрямитель, 4.2 - систему импульсно-фазового управления (СИФУ), 4.3 - фильтр для подавления пульсаций выпрямленного напряжения, 4.4 - датчик пульсаций, 4.5 - измерительно-усилительный блок; 4.6 - датчик тока, 4.7 - источник опорного напряжения (ИОН). Рассматриваемые преобразователи 4+6 являются стабилизаторами постоянного тока компенсационного типа. Принцип действия таких стабилизаторов описывается, например, в [4].

Тиристорный управляемый выпрямитель 4.1 выполнен по схеме трехфазного мостового выпрямителя и содержит 6 силовых тиристоров. СИФУ 4.2 (рис.3) содержит 6 идентичных каналов К1,...,К6, вырабатывающих широкие импульсы управления (ширина управляющих импульсов 60°) и преобразователь напряжения-частота (ПНЧ). Упрощенная блок-схема одного канала управления тиристором показана на рис.4. В канале управления имеются: УФ - усилитель-формирователь синхриимпульсов, ОР - оптическая развязка, СТ2 - двоичный счетчик емкостью N, Т - RS-триггер, ОБ - одновибратор, У - усилитель,

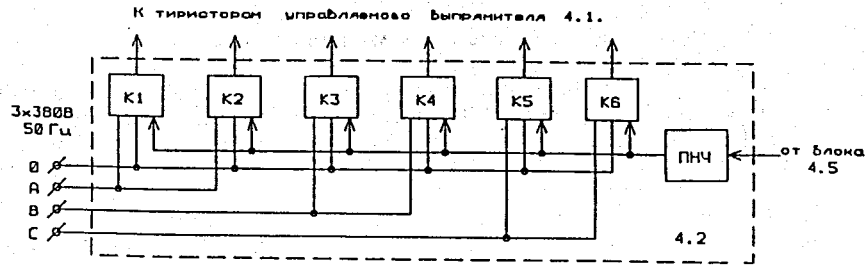


Рис.3. Упрощенная блок-схема СИФУ

ОР - оптронный тиристор, R - ограничительный резистор. Рассматриваемая СИФУ не содержит трансформаторов, что повышает ее технологичность и надежность.

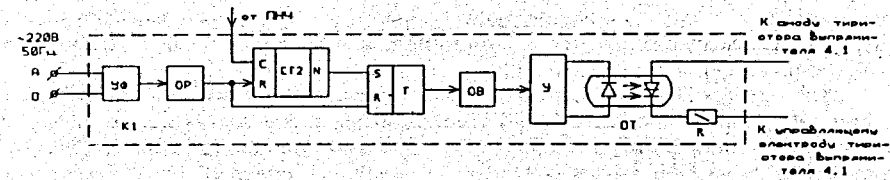


Рис.4. Упрощенная блок-схема канала

В рассматриваемом варианте выполнения канала управления тиристором формируется импульс управления, имеющий регулируемую временную задержку относительно момента перехода синхронизирующего (сетового) напряжения через нуль. Получение регулируемой временной задержки основано на регистрации интервала времени, необходимого для заполнения счетчика импульсами, частота следования которых регулируется в широких пределах. Более подробно работа СИФУ такого типа обсуждается в [5]. Там же приведена принципиальная схема одного из вариантов ПНЧ.

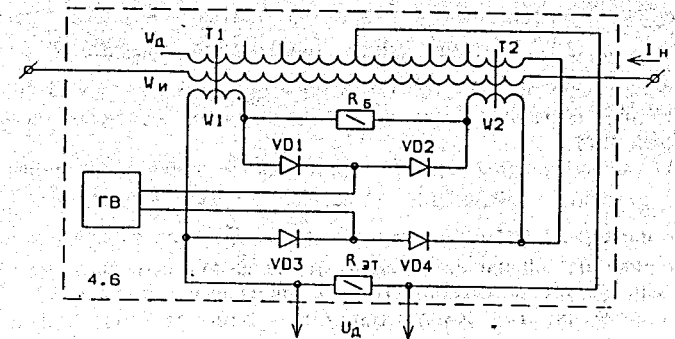


Рис.5. Принципиальная схема датчика тока

Датчик тока (рис.5) выполнен на основе трансформатора постоянного тока (ТПТ). Здесь использована схема ТПТ, имеющая малые пульсации выходного напряжения [6]. ТПТ этого типа ранее были использованы в магнитных компараторах постоянного тока [2,7] в качестве детекторов разбаланса сравниваемых ампервитков.

Узел ТПТ содержит два тороидальных магнитопровода Т1 и Т2, на каждом из которых намотаны соответственно обмотки возбуждения W1 и W2. Измерительная W<sub>и</sub> и дополнительная W<sub>д</sub> обмотки являются общими для обоих

магнитопроводов T1 и T2 (наматываются на сборку магнитопроводов T1 и T2 с уже готовыми обмотками W1 и W2). ТПТ содержит также сборку полупроводниковых вентилях VD1-VD4, балластный резистор R<sub>б</sub> и эталонный резистор R<sub>эт</sub>.

Возбуждение обмоток W1 и W2 ТПТ осуществляется напряжением прямоугольной или синусоидальной формы, которое вырабатывается генератором возбуждения ГВ. Принципиальная схема ГВ напряжения прямоугольной формы приведена в [2].

Для возбуждения синусоидальным напряжением обычно используют переменное напряжение частоты 50Гц, подводимое к соответствующим выводам ТПТ от вторичной обмотки специального трансформатора. Первичная обмотка этого трансформатора подключается к участку силовой сети, который выбирается из условий минимальных искажений и нестабильности. В обсуждаемом комплексе источников возбуждения ТПТ осуществляется от специальной обмотки силового трансформатора блока питания, входящего в состав устройства (на блок-схеме рис.2 не показан). Этот вариант возбуждения достаточно часто используется на практике.

Обсуждаемый узел ТПТ отличается от соответствующих узлов, приведенных в [2,6,7], наличием дополнительной обмотки W<sub>д</sub>, включенной в выходную цепь ТПТ последовательно с R<sub>эт</sub>. Для упрощения схемы на рис.5 показано, что обмотка W<sub>д</sub> выполнена с отводами. На самом деле она выполнена в виде нескольких отдельных секций с разным числом витков. При этом первая секция содержит 1 виток, вторая - 2 витка, третья - 4 витка, четвертая - 8 витков, ..., n-ая - 2<sup>n-1</sup> витков. Такое выполнение обмотки W<sub>д</sub> позволяет включать любое число витков этой обмотки в пределах от 0 до 2<sup>n</sup>-1 с шагом 1 виток и таким образом изменять в некоторых пределах коэффициент трансформации ТПТ.

В ТПТ использованы витые тороидальные ленточные сердечники из пермаллоя, имеющие следующие размеры: наружный диаметр D<sub>н</sub>=70мм; внутренний диаметр D<sub>вн</sub>=50мм; высота v=10мм. Каждый сердечник заключен в защитный каркас из пластмассы. Обмотки W1 и W2 содержат по 972 витков каждая и выполнены проводом ПЭВ-2 диаметром 0,75мм (распределены равномерно по периметру сердечников). Обмотка W<sub>д</sub> выполнена тем же проводом и имеет 7 отдельных секций с числом витков 1, 2, 4, 8, 16, 32 и 64. Измерительная обмотка W<sub>и</sub> выполнена в виде одного проходного витка из медной шины круглого сечения диаметром 25мм. Напряжение возбуждения ТПТ ~8В (действующее значение), 50Гц. Номинальный измеряемый ток - 1кА, погрешность преобразования (относительное значение) не превышает 10<sup>-3</sup>. Коэффициент трансформации ТПТ может регулироваться при наладке от 972 до 1099.

Источник опорного напряжения (ИОН) выполнен по достаточно известной схеме [8] и содержит (рис.6) микросхему DA1, стабилитрон VD1 и резисторы R1-R7. Нагрузкой ИОН является делитель R6, R7, при этом в качестве R7 используется 20-оборотный гелипот, с которого и снимается регулируемое опорное напряжение U<sub>оп</sub>. Путем подбора при наладке

стабилизатора коэффициента трансформации, а также номиналов резисторов R<sub>эт</sub> и R6 можно установить значение деления шкалы гелипота R7, максимально удобное для восприятия оператором.

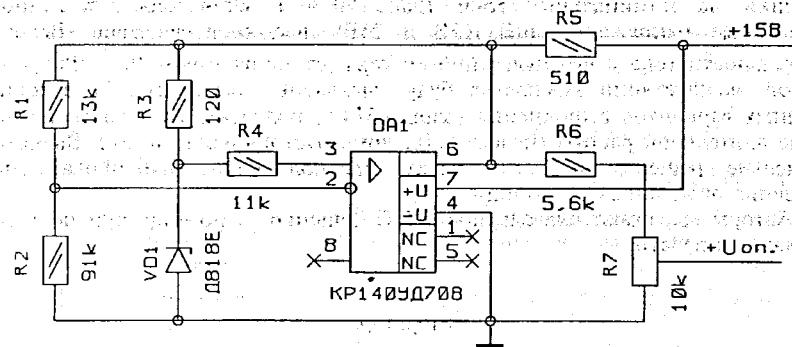


Рис.6. Принципиальная схема источника опорного напряжения

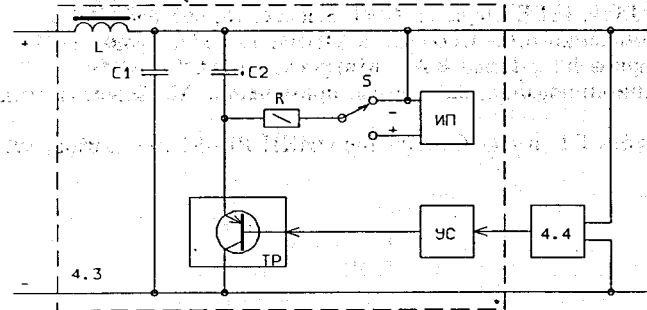


Рис.7. Упрощенная блок-схема фильтра для подавления пульсаций выпрямленного напряжения

На рис.7 представлена упрощенная блок-схема фильтра 4.3 для подавления пульсаций выпрямленного напряжения. Фильтр 4.3 представляет собой сочетание пассивного (дроссель L) и активного фильтров [9]. Активный фильтр содержит: ИП - источник питания постоянного напряжения, УС - усилитель, ТР - транзисторный регулятор, R - ограничительный резистор, C1 и C2 - корректирующие конденсаторы, S - коммутатор. Кроме того, в активный фильтр входит также датчик пульсаций б, не включенный в состав блока 4.3. Коммутатор S обеспечивает подключение источника ИП в силовую цепь

транзисторного регулятора ТР при низких напряжениях (менее ~5В) на нагрузке 7 для сохранения работоспособности активного фильтра.

Варианты принципиальных схем узлов 4.3, 4.4 и 4.5 разработаны, соответственно изготовлены эти узлы. Комплекс источников, содержащий источники на номинальные токи 100А, 300А и 600А (соответственно на номинальные напряжения 10В, 15В и 25В), введен в действие. Величины нестабильности тока и его пульсаций составляют меньше чем  $10^{-3}$ . В процессе опытной эксплуатации комплекса будут выявлены достоинства и недостатки различных вариантов выполнения узлов 4.3÷4.5, получены их характеристики в режиме длительной работы (наджность, помехоустойчивость и др.). Выбранные технические решения по этим узлам предполагается опубликовать после завершения опытной эксплуатации.

Авторы выражают благодарность Г.П.Лешенко за помощь при подготовке материалов к печати.

### Литература

1. Денисов Ю.Н. и др.- Сообщение ОИЯИ 13-5068, Дубна, 1970.
2. Денисов Ю.Н. и др.- Сообщение ОИЯИ 13-8420, Дубна, 1974.
3. Глазов А.А. и др.- Сообщение ОИЯИ Р9-97-187, Дубна, 1997.
4. Додик С.Д. - Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. М.: Изд-во "Советское радио", 1962.
5. Казакова Г.Г. и др.- Сообщение ОИЯИ Р13-93-113, Дубна, 1993.
6. M.G.J.Fry. IEEE Trans. on Nucl. Science, 18, 865-868 (1971).
7. Калининченко В.В.- Сообщение ОИЯИ 13-8373, Дубна, 1974.
8. Федорков Б.Г., Телец В.А. - Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение. М.: Энергоатомиздат, 1990.
9. Казакова Г.Г. и др.- Сообщение ОИЯИ Р13-92-277, Дубна, 1992.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июня 1998 года.