

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

98-241

P13-98-241

В.В.Калиниченко, С.Б.Федоренко

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА

1998

В Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ разработаны варианты прецизионных стабилизаторов постоянного тока различного назначения. Номенклатура источников весьма широкая. Так, в циклотроне У-120М [1] и фазотроне ОИЯИ [2], уже давно находящихся в эксплуатации, используются стабилизаторы на номинальные токи от единиц ампер до 12кА при номинальных напряжениях от единиц вольт до нескольких сот вольт. Значения нестабильности и пульсаций тока этих стабилизаторов имеют порядок  $10^{-3} \div 10^{-5}$ .

В настоящее время по мере необходимости такие стабилизаторы изготавливаются в лаборатории и используются в действующих и сооружаемых ускорительных установках. В проектах новых ускорительных и других физических установок также предусматривается использование таких стабилизаторов.

Упрощенная блок-схема базового варианта стабилизатора постоянного тока представлена на рис.1. Стабилизатор содержит: 1-управляемый

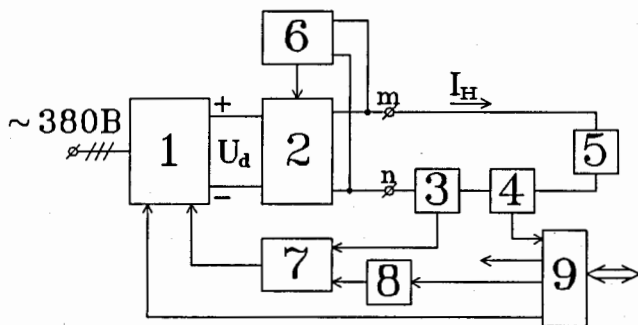
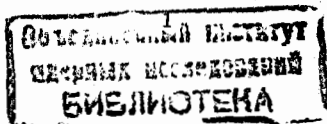


Рис.1. Упрощенная блок-схема базового варианта стабилизатора постоянного тока

выпрямительный агрегат, 2-фильтр для подавления пульсаций, 3-датчик тока контура стабилизации тока нагрузки  $I_H$ , 4-датчик тока системы контроля, 5-нагрузку, 6-датчик пульсаций напряжения, 7-измерительно-усилительный блок, 8-цифроаналоговый преобразователь (ЦАП), 9-блок местного управления и связи с общей системой управления. Обсуждаемый стабилизатор является стабилизатором постоянного тока компенсационного типа.

Достаточно часто для ускорительных и физических установок требуются стабилизаторы постоянного тока, обеспечивающие изменения направления протекания тока в нагрузке (реверсивные стабилизаторы). При введении блока реверса ток в базовую структуру рис.1 получается реверсивный стабилизатор постоянного тока. На рис.2 показаны варианты включения блока реверса тока 10. Предполагается использование в блоке реверса 10 бесконтактных ключей. В варианте рис.2б точность стабилизатора ухудшается, так как токи утечки блока реверса 10 протекают через датчик тока 3. Этот вариант может быть использован в стабилизаторах при требовании к погрешности стабилизации не лучше, чем  $10^{-3}$ . Вариант



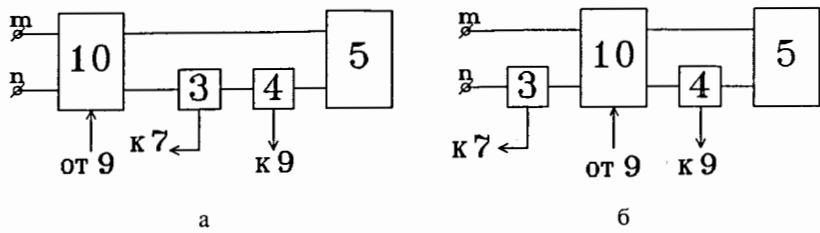


Рис.2. Варианты включения блока реверса тока 10 в базовую структуру стабилизатора тока

рис.2а не имеет этого недостатка, однако в этом случае датчик тока 3 и прецизионный ЦАП 8 должны быть двухполярными.

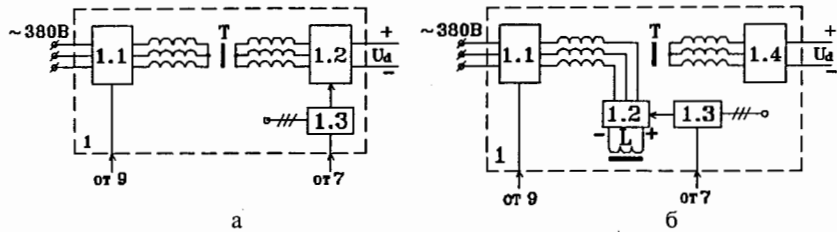


Рис.3. Варианты выполнения управляемого выпрямительного агрегата 1

На рис.3 показаны варианты выполнения управляемого выпрямительного агрегата 1. Здесь: 1.1-устройство коммутации и защиты, 1.2-управляемый выпрямитель, 1.3-устройство управления выпрямителем 1.2, 1.4-диодный выпрямитель, Т-силовой трансформатор. Вариант 3а рекомендуется использовать практически во всех случаях, когда напряжение  $U_d$  превышает 10В. Вариант 3б является предпочтительным при низких значениях  $U_d$  (порядка 10В и меньше), а также при особых условиях эксплуатации [3].

На рис.4 приведена блок-схема управляемого выпрямителя 1.2, используемого в агрегате 1. В качестве управляемых вентилях 1.2-1,...,1.2-6 могут быть применены силовые оптронные тиристоры или каскадное соединение силового и оптронного тиристоров (рис.5а и 5б соответственно). При таком выполнении управляемого выпрямителя его устройство управления 1.3 не содержит импульсных трансформаторов, что повышает надежность эксплуатации и технологичность изготовления стабилизатора тока.

Упрощенная блок-схема устройства управления выпрямителем 1.3 представлена на рис.6. Устройство содержит: 1.3-1,...,1.3-3-блоки формирования импульсов синхронизации из напряжения фаз А,...,С силовой сети переменного тока (3 одинаковых блока), 1.3-4,...,1.3-9-блоки временной задержки импульсов управления (6 одинаковых блоков), 1.3-10,...,1.3-15-блоки формирования импульсов управления управляемыми вентилями (6 одинаковых блоков), 1.3-16-генератор регулируемой частоты, управляемый напряжением.

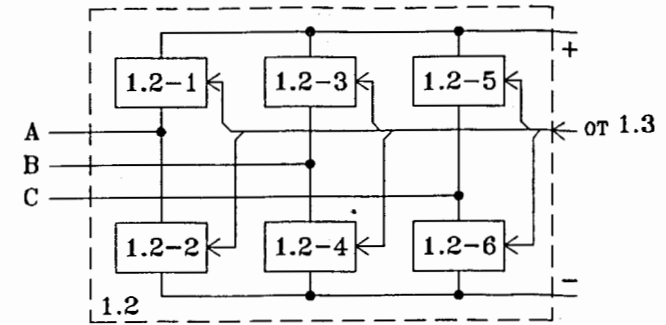


Рис.4. Блок-схема управляемого выпрямителя 1.2

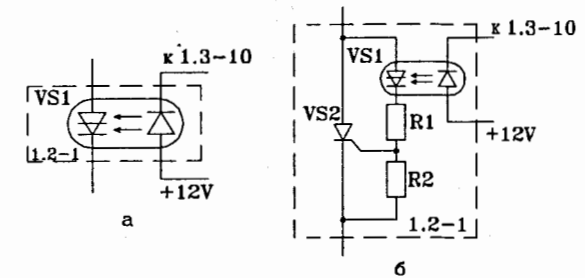


Рис.5. Варианты выполнения управляемых вентилях блока 1.2

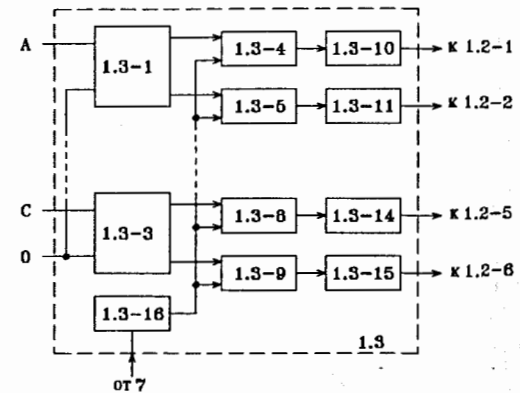


Рис.6. Упрощенная блок-схема устройства управления выпрямителем

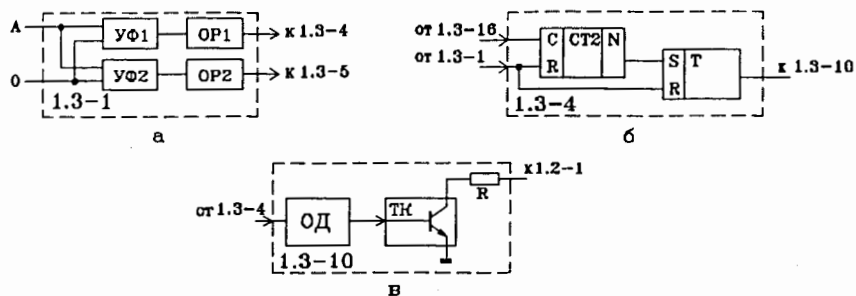


Рис.7. Примеры выполнения узлов устройства управления 1.3

На рис.7 представлены примеры выполнения узлов устройства управления 1.3. Блок формирования импульсов синхронизации (рис.7а) имеет два канала, каждый из которых содержит усилитель-формирователь импульсов и оптическую развязку (соответственно, УФ1 и ОП1 в первом канале, УФ2 и ОП2 - во втором). Блок временной задержки (рис.7б) содержит двоичный счетчик СТ2 и RS-триггер Т. Блок формирования импульса управления (рис.7в) содержит одновибратор ОД, транзисторный ключ ТК и ограничительный резистор R. Выработываемые в этом блоке прямоугольные импульсы тока имеют длительность ~4 мс. Амплитуда их должна обеспечивать включение оптронных тиристоров VS1.

В рассматриваемом устройстве управления имеется 6 каналов управления, в каждом из которых 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 [4].

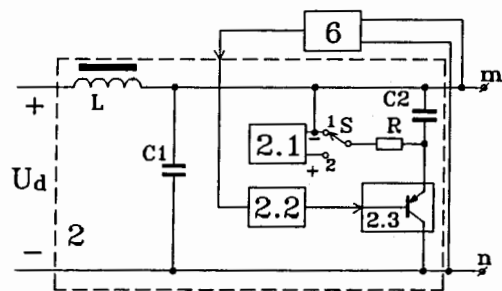


Рис.8. Фильтр для подавления пульсаций выпрямленного напряжения

На рис.8 представлена упрощенная блок-схема фильтра 2 для подавления пульсаций выпрямленного напряжения. Фильтр 2 представляет собой сочетание пассивного (дроссель L) и активного фильтров [5]. Активный фильтр содержит: 2.1-источник питания постоянного напряжения, 2.2-усилитель, 2.3-

транзисторный регулятор, R-ограничительный резистор, C1 и C2 - корректирующие конденсаторы, S- коммутатор. Кроме того, в активный фильтр входит также датчик пульсаций 6, не включенный в состав блока 2. Коммутатор S обеспечивает подключение источника 2.1 в силовую цепь транзисторного регулятора 2.3 при низких напряжениях (менее ~5 В) на нагрузке 5 для сохранения работоспособности активного фильтра.

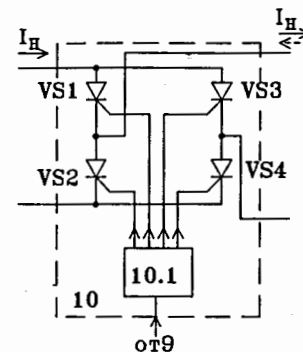


Рис.9. Упрощенная блок-схема блока реверса тока

Блок реверса тока 10 (рис.9) содержит 4 тиристорных ключа (VS1,...,VS4), а также устройство управления и защиты 10.1. Состояние тиристорных ключей VS1,...,VS4, определяющее направление тока в нагрузке, задается устройством 10.1. Устройство 10.1, кроме того, обеспечивает снижение тока  $I_H$  до нулевого значения путем воздействия на выпрямительный агрегат 1 через блок 9 при коротком замыкании в цепях блока реверса, а также при выполнении команды на реверсирование тока в нагрузке [6].

На рис.10 представлены два варианта выполнения датчика тока 3 контура стабилизации тока. Здесь: 3.1 - детектор неравновесия намагничивающих

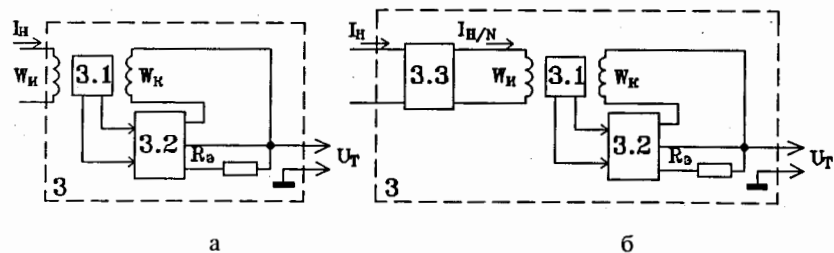


Рис.10. Упрощенные блок-схемы вариантов выполнения датчика тока контура стабилизации

сил (н.с.) и детектор насыщения магнитопроводов, 3.2-усилитель постоянного тока,  $R_3$ -высокостабильный резистор,  $W_H$ ,  $W_K$ -измерительная и компенсационная обмотки соответственно, 3.3-прецизионный делитель тока  $I_H$  ( $N$ -коэффициент деления). Первый вариант датчика тока (рис.10а) имеет

погрешность преобразования порядка  $10^{-5}$  при измеряемом токе, равном или меньшем 100А. При существенном увеличении измеряемого тока погрешность преобразования возрастает, так как увеличиваются тепловые потери в высокостабильном резисторе  $R_3$ . При введении прецизионного делителя тока 3.3 (второй вариант датчика тока, рис.10б) погрешность преобразования порядка  $10^{-5}$  сохраняется до  $\sim 50$ кА.

Датчик тока 3, а также прецизионный делитель тока 3.3 построены на основе магнитного сравнения постоянных токов [7]. На рис.11 показаны

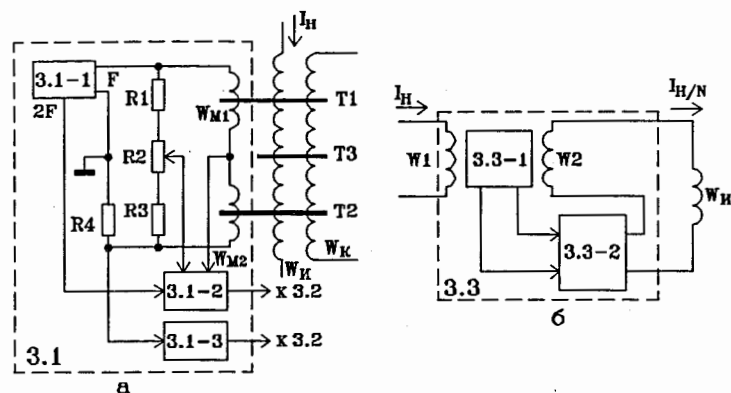


Рис.11. Детектор неравновесия н.с. постоянных токов (а) и прецизионный делитель тока (б)

примеры выполнения детектора неравновесия н.с. постоянных токов (рис.11а) и прецизионного делителя тока (рис.11б). Указанные узлы содержат: 3.1-1 - генератор прямоугольного напряжения (меандр) с выходами основной F и удвоенной частоты 2F, 3.1-2 - фазочувствительный детектор, 3.1-3 - детектор насыщения тороидальных рабочих магнитопроводов T1, T2, T3-тороидальный экранирующий магнитопровод, W<sub>M1</sub>, W<sub>M2</sub>-модуляционные обмотки, R1,...,R4 - резисторы, 3.3-1 - детектор неравновесия н.с. и детектор насыщения магнитопроводов, 3.3-2 - усилитель постоянного тока, W1, W2 - первичная и вторичная обмотки прецизионного делителя тока. В рассматриваемых вариантах выполнения датчика тока детекторы неравновесия н.с. выполняются на основе магнитного модулятора, действующего по принципу удвоения частоты (магнитного модулятора с удвоением частоты). Магнитный модулятор этого типа обладает высокой чувствительностью и малым дрейфом нуля, благодаря чему датчики тока имеют малую (как уже указывалось, порядка  $10^{-5}$ ) погрешность преобразования. Основные сведения по датчику тока на основе магнитного сравнения и его узлам приведены в [8,9].

В заключение отметим, что стабилизаторы постоянного тока, созданные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ, благодаря высокой стабильности,

надежности, невысокой стоимости могут быть эффективно использованы в проектах новых физических установок.

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

#### Литература

1. Денисов Ю.Н. и др. - Сообщение ОИЯИ Р9-6241, Дубна, 1972, с.79
2. Ахманов В.В. и др. - Сообщение ОИЯИ Р13-90-420, Дубна, 1990.
3. Ахманов В.В. и др. - Сообщение ОИЯИ Р9-91-255, Дубна, 1991.
4. Казакова Г.Г. и др. - Сообщение ОИЯИ Р13-93-113, Дубна, 1993.
5. Казакова Г.Г. и др. - Сообщение ОИЯИ Р13-92-277, Дубна, 1992.
6. Денисов Ю.Н. и др. - Сообщение ОИЯИ 13-9624, Дубна, 1976.
7. Спектор С.А. - Измерение больших постоянных токов. Л.: Энергия, 1978.
8. Калининченко В.В. - Сообщение ОИЯИ Р13-95-168, Дубна, 1995.
9. Казакова Г.Г., Калининченко В.В. - Сообщение ОИЯИ Р13-96-326, Дубна, 1996.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 августа 1998 года.

Обсуждаются стабилизированные источники постоянного тока высокой стабильности ( $\pm 3 \cdot 10^{-5} + 10^{-3}$ ) для использования преимущественно в ускорителях циклотронного типа. Все рассматриваемые источники выполняются по схеме компенсационного стабилизатора постоянного тока. Предложены варианты выполнения силовых преобразователей, фильтров, измерительных преобразователей и других основных узлов, на основе которых выполняются такие источники. Приведены блок-схемы обсуждаемых узлов. Даются рекомендации по использованию этих узлов для создания источников с требующимися в любом конкретном случае характеристиками. Приведены блок-схемы источников для некоторых вариантов сочетания их основных параметров.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1998

Перевод авторов

Highly stable ( $\pm 3 \cdot 10^{-5} + 10^{-3}$ ) direct-current power supplies intended predominantly for cyclotron-type accelerators are discussed. All power supplies considered are based on the circuit of the compensated *dc* stabilizer. Versions of silicon-controlled rectifiers, filters, transducers, and other basic units of the power supplies in question are proposed. Block diagrams of the units discussed are presented. Recommendations on using the units for making power supplies with the necessary characteristics for any particular case are given. Block diagrams of power supplies with several different combinations of their main parameters are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 1998