

93-388



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-93-388

В.В.Калиниченко

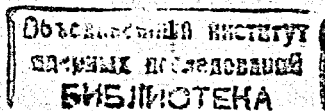
РЕВЕРСИРОВАНИЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА
В СЕКЦИЯХ КОМПЕНСАЦИОННОЙ ОБМОТКИ
МАГНИТНОГО КОМПАРАТОРА

1993

Дискретное регулирование величины компенсирующей намагничивающей силы (н.с.) (в магнитном компараторе (МК) постоянного тока с комбинированным уравновешиванием) осуществляется путем соответствующих переключений секций (или, короче, путем коммутации секций) компенсационной обмотки при фиксированном значении эталонного (компенсирующего) тока. В работах [1—3] рассмотрены два варианта коммутации секций. В первом варианте регулирование компенсирующих ампер-витков обеспечивается отключением секций, а во втором — изменением направления тока в секциях. Коммутатор на бесконтактных ключах для реализации первого варианта коммутации секций обсуждался ранее в [2]. В настоящей работе будет обсуждаться коммутатор на бесконтактных ключах для реализации второго варианта коммутации секций, как более перспективного для использования в системах измерения и стабилизации постоянных токов большой силы.

На рис. 1 представлена упрощенная блок-схема коммутатора на бесконтактных ключах, который обеспечивает изменение направления (реверсирование) постоянного тока в секциях компенсационной обмотки. Коммутатор содержит N ячеек (по количеству секций компенсационной обмотки), а также балластный резистор R и два ключа КК-1 и КК-2. О функции этих элементов будет сказано ниже. Это техническое решение предложено в работе [4]. На блок-схеме рис. 1 показаны первая и N -ая ячейки коммутатора; остальные его секции, а также блоки управления, контроля, защиты и др. для упрощения не показаны. К выходам ячеек подключены соответствующие секции компенсационной обмотки. Каждая ячейка коммутатора содержит четыре ключа (например, ключи К1-1 — К1-4 для первой ячейки), соединенные по схеме моста.

Работа коммутатора (без учета конкретного выполнения ключей, а также их токов утечки) рассмотрена в [3]. В каждой из ячеек коммутатора обязательно должны быть замкнуты два ключа. При этом ток от источника эталонного тока (ИЭТ) протекает по всем секциям. Направление тока в каждой конкретной секции определяется состоянием ключей именно той ячейки, к выходу которой данная конкретная секция подключена. Например, в секции 1 ток $I_{\text{ЭТ}}$ протекает от ее верхнего (по схеме) вывода к нижнему при замкнутых ключах К1-1 и К1-4 (ключи К1-2 и К1-3 при этом обязательно разомкнуты). При замкнутых ключах К1-2 и К1-3 (ключи К1-1 и



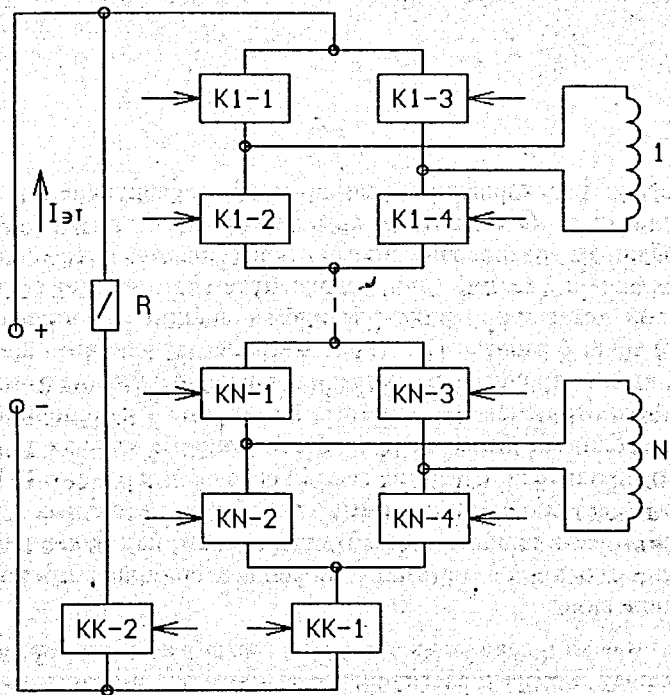


Рис.1. Упрощенная блок-схема коммутатора секций компенсационной обмотки, обеспечивающего реверс тока в секциях

К1-4 при этом обязательно разомкнуты) ток $I_{ЭТ}$ протекает в секции 1 в обратном направлении (от нижнего вывода к верхнему).

Направление тока в каждой из секций компенсационной обмотки задается блоком управления, управляющие сигналы которого устанавливают в соответствующее состояние каждую ячейку коммутатора. В общем случае в одной части секций ток имеет направление от верхнего вывода к нижнему, а в другой — от нижнего к верхнему (в крайних случаях ток во всех секциях имеет направление от верхнего вывода к нижнему или наоборот — от нижнего вывода к верхнему).

Намагничивающая сила, создаваемая любой секцией компенсационной обмотки, имеет направление, соответствующее направлению протекающего по ней эталонного тока $I_{ЭТ}$. Секции с одинаковым направлением тока создают одинаково направленные н.с., так как намотка всех секций выполнена в одном направлении. Условимся, что секции, ток в которых протекает от верхнего вывода к нижнему, создают положительные н.с., а секции,

ток в которых протекает от нижнего вывода к верхнему, создают отрицательные н.с. Результирующая н.с., создаваемая N секциями компенсационной обмотки, равна

$$F = I_{ЭТ}(W' - W''), \quad (1)$$

где W' — общее (суммарное) число витков секций, создающих положительные н.с., W'' — общее число витков секций, создающих отрицательные н.с., при этом всегда $W' + W'' = W_k$.

В МК постоянного тока с комбинированным уравниванием н.с. IW , создаваемая измеряемым током I (W — число витков измерительной обмотки), уравнивается (см. соотношение (3) в [3]) двумя н.с.: одна из них — н.с. $I_c W_c$ — вырабатывается контуром авторегулирования МК [1], другая — н.с. F — это результирующая н.с., создаваемая током $I_{ЭТ}$, поступающим в секции компенсационной обмотки от ИЭТ через коммутатор (контур дискретного уравнивания). Изменяя соответствующим образом с помощью коммутатора направление тока в секциях, можно регулировать н.с. F в диапазоне от $-I_{ЭТ} W_k$ ($W' = 0$) до $+I_{ЭТ} W_k$ ($W'' = 0$). Дискретность регулирования н.с. F составляет $2W_0 I_{ЭТ}$, где W_0 — дискретность переключения витков компенсационной обмотки. Задаваемое (устанавливаемое) с помощью коммутатора значение н.с. F определяется соотношением (1).

Каждый из реальных ключей, входящих в коммутатор (см. рис.1), имеет в разомкнутом состоянии утечку. Наличие токов утечки ключей приводит к снижению точности установки н.с. F , что вызывает увеличение погрешности МК. Оценить величину погрешности установки н.с. F , обусловленную токами утечки ключей, возможно, если принять, что токи утечки ключей одинаковы и равны некоторому среднему значению $I_{уср}$, характерному для данного типа ключей. При таком упрощении относительная погрешность δ_y установки н.с. F , обусловленная токами утечки ключей, может быть определена из соотношения

$$\delta_y \approx -2I_{уср}/I_{ЭТ}. \quad (2)$$

В настоящее время представляется, что коммутатор секций компенсационной обмотки целесообразно выполнить на бесконтактных ключах с использованием тиристоров. Такой коммутатор имеет два основных положительных качества:

— в стационарном режиме работы (то есть после завершения операций по установке нового состояния ячеек, соответствующего требуемой уставке) коммутатор по цепям управления практически не потребляет мощности

от блока управления, так как для управления тиристорными ключами требуются короткие управляющие импульсы,

— коммутатор обладает памятью, то есть заданное блоком управления состояние ячеек коммутатора сохраняется в дальнейшем без участия блока управления.

Управление коммутатором осуществляется с помощью средств цифровой техники, поэтому здесь будет использоваться соответствующая терминология. Запись нового кода в коммутатор обеспечивается путем выполнения следующих операций:

— на ключи КК-1 и КК-2 одновременно подаются управляющие сигналы, в результате действия которых ключ КК-1 запирается, а ключ КК-2 отпирается; при этом ток $I_{ЭТ}$ из основной цепи, содержащей собственно коммутатор и ключ КК-1, коммутируется во вспомогательную цепь, содержащую балластный резистор R и ключ КК-2; коммутатор выдерживается в обесточенном состоянии в течение времени, превышающего время выключения тиристорных ключей,

— на ключи КК-1 и КК-2 подаются управляющие сигналы, под действием которых ключ КК-2 запирается, а ключ КК-1 отпирается, одновременно с этим на управляющие входы соответствующих ключей коммутатора поступают управляющие импульсы от блока управления, вырабатываемые блоком управления в соответствии с поступающим новым кодом уставки; при этом ток $I_{ЭТ}$ коммутируется в основную цепь, содержащую собственно коммутатор и ключ КК-1 (из вспомогательной цепи, содержащей балластный резистор R и ключ КК-2); в дальнейшем это состояние коммутатора, соответствующее записанному коду, удерживается (самим током $I_{ЭТ}$) до поступления сигналов на изменение уставки.

Из изложенного выше становится ясным назначение ключей КК-1 и КК-2: ключ КК-1 обеспечивает выключение тиристорных секций компенсационной обмотки путем отключения от источника эталонного тока, при этом разрыва цепи тока $I_{ЭТ}$ не происходит, так как на время запираания КК-1 в цепь тока $I_{ЭТ}$ ключом КК-2 включается балластный резистор R .

На рис. 2 представлена принципиальная схема одной ячейки коммутатора. Основой ячейки является мостовая схема на тиристорах Т1-1—Т1-4. Управляющие электроды тиристорных ключей подключены к соответствующим выходам транзисторно-трансформаторных элементов (ТТЭ). ТТЭ предназначены для преобразования команд блока управления в импульсы, обеспечивающие отпираание тиристорных ключей. ТТЭ обеспечивают гальваническую развязку тиристорных ключей.

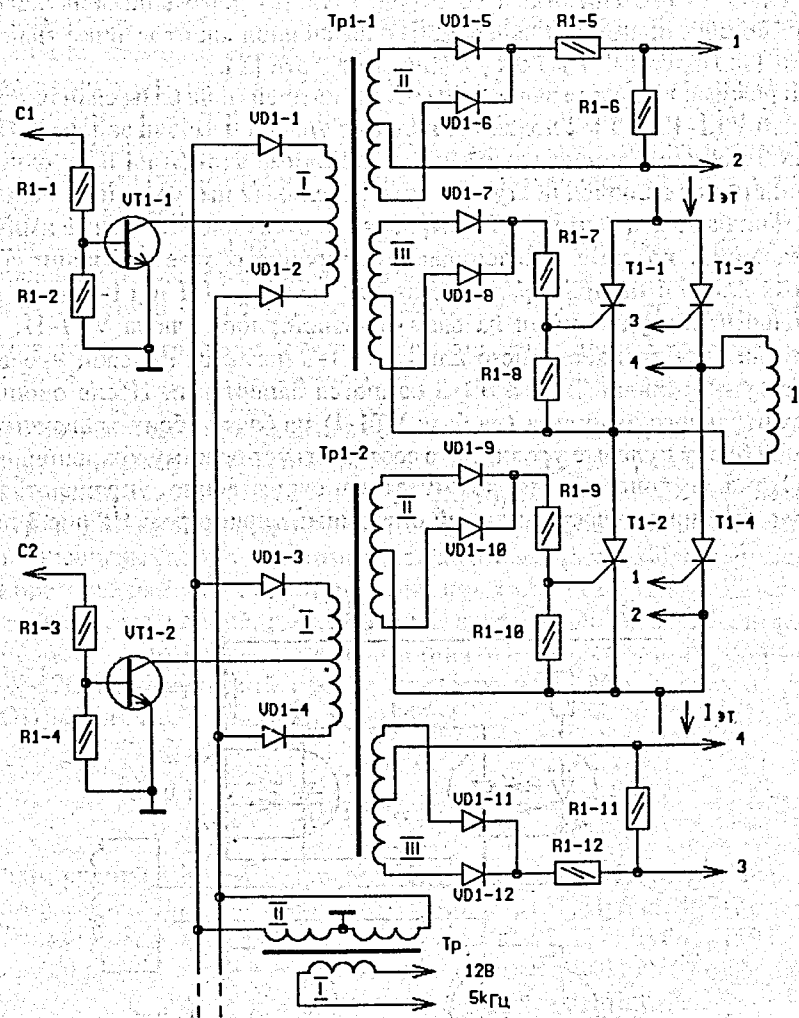


Рис. 2. Принципиальная схема ячейки коммутатора на тиристорах с узлами управления тиристорами

В ячейку коммутатора входят два ТТЭ, каждый из которых обслуживает два тиристорных ключа. Например, к выходам первого ТТЭ подключены управляющие электроды тиристорных ключей Т1-1 и Т1-4. Первый ТТЭ содержит многообмоточный трансформатор Тр1-1, два выпрямителя соответственно на диодах VD1-5, VD1-6 и VD1-7, VD1-8, а также тиристор-

ный ключ VT1-1. Питание ТТЭ осуществляется переменным двухфазным напряжением прямоугольной формы повышенной частоты через трансформатор Тр. Подобные ТТЭ обсуждались в работе [2].

В режиме хранения заданного состояния ячейки на базы транзисторных ключей VT1-1 и VT1-2 подаются нулевые уровни и ключи заперты. На выходах ТТЭ напряжения равны нулю. В режиме записи на базу одного из транзисторных ключей поступает положительный импульс, и в течение его действия на выходах этого ТТЭ вырабатываются положительные импульсы напряжения, которые обеспечивают отпирание соответствующих тиристорных ключей (например, тиристорных ключей T1-1 и T1-4, если положительный импульс подан на базу транзисторного ключа VT1-1). В это время на базу транзисторного ключа VT1-2 подается нулевой уровень, и тиристорные ключи T1-2 и T1-3 остаются запертыми. После окончания положительного импульса (на базе VT1-1) на базах обоих транзисторных ключей будут нулевые уровни, что соответствует режиму хранения.

Схема и конструкция коммутатора существенно упрощаются при использовании в качестве ключей оптронных тиристоров. На рис.3 приве-

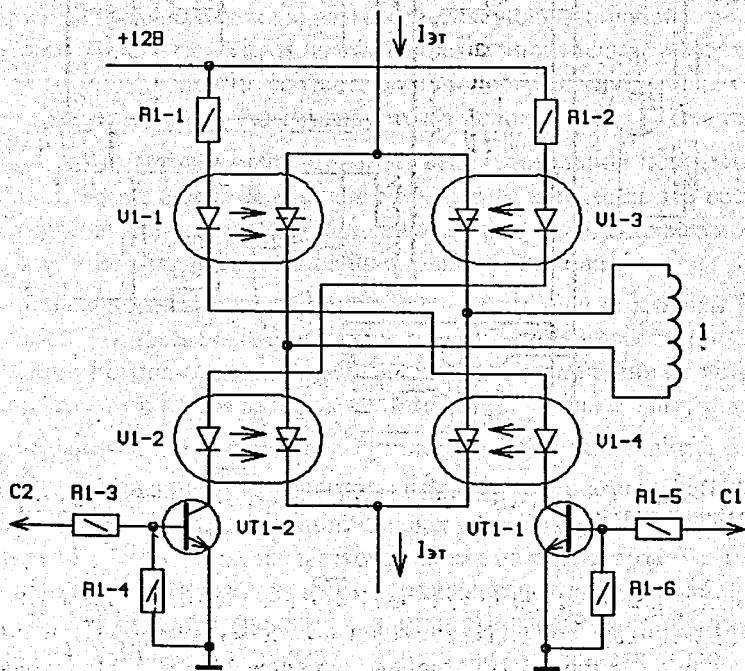


Рис.3. Принципиальная схема ячейки коммутатора на оптронных тиристорах

дена принципиальная схема ячейки коммутатора, выполненного на основе оптронных тиристоров. Фототиристоры оптронных тиристоров V1-1—V1-4 включены по схеме моста. Их светодиоды, соответственно попарно соединенные последовательно, подключены к источнику + 12 В через транзисторные ключи VT1-1 и VT1-2. В режиме хранения на базы VT1-1 и VT1-2 подаются нулевые уровни. В режиме записи на базу одного из транзисторных ключей подается импульс положительной полярности, а на базу другого — нулевой уровень.

Оценка величины дополнительной составляющей погрешности МК, обусловленной коммутатором, может быть произведена с помощью соотношения (2). Обычно значение эталонного тока $I_{ЭТ}$ составляет 1 А. Для изготовления коммутатора могут быть подобраны тиристоры с токами утечки $I_y \leq 1 \cdot 10^{-6}$ А, тогда $\delta_y \leq 2 \cdot 10^{-6}$. Такое значение дополнительной составляющей погрешности приемлемо в большинстве случаев применения МК с комбинированным уравниванием. Таким образом, рассматриваемые устройства имеют хорошую перспективу для применения в МК больших токов. Отрицательным фактором является относительно большая мощность потерь в ключевых элементах коммутатора: эта мощность может в несколько раз превышать мощность потерь в секциях компенсационной обмотки.

Технические решения, рассмотренные в настоящей работе, были созданы в процессе разработки системы питания магнитных элементов циклотрона У-120К (технический проект циклотрона У-120К был разработан в ЛЯП ОИЯИ для Республики Куба в 1989г.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Калиниченко В.В. — Сообщение ОИЯИ Р13-93-166, Дубна, 1993.
2. Калиниченко В.В. — Сообщение ОИЯИ 13-8157, Дубна, 1974.
3. Калиниченко В.В. — Сообщение ОИЯИ Р13-93-177, Дубна, 1993.
4. Калиниченко В.В. — Заявка на изобретение №4949209/07 от 24.06.91, по которой принято положительное решение от 31.01.1992.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 октября 1993 года.