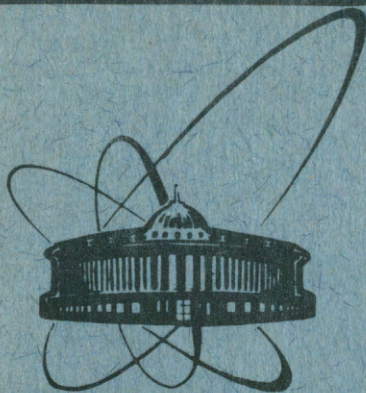


91-245



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-91-245

И. Г. Косарев

СИСТЕМА ЭТАЛОННЫХ ТОКОВ

1991

Описан прецизионный источник тока, имеющий выходы на токи 62,5 мА и 1 А. В источнике использован принцип получения нескольких токов различной величины от одного первичного с помощью магнитных компараторов постоянного тока. Нестабильность источника составляет $\pm 2 \cdot 10^{-5}$. Система предназначена для питания измерительных обмоток магнитных компараторов, применяемых в качестве датчиков в системах стабилизации больших токов.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод автора

The precision source of direct current with two canals of 62.5 mA and 1 A is described. The principle of receiving several currents from the original one by magnetic comparators of direct current is used in the source. The instability of the currents is $\pm 2 \cdot 10^{-5}$. The system is intended for the magnetic comparators of direct current which are applied as detectors in stabilized supply sources.

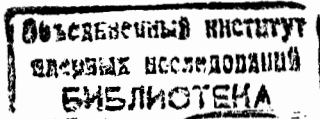
The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 1991

Для использования магнитных компараторов постоянного тока в качестве измерительных элементов в системах измерения и стабилизации постоянного тока $I = 1-10\text{кА}$ требуются высокостабильные источники эталонного (опорного) тока $I_{\text{ЭТ}}$. Разработанные ранее в Лаборатории ядерных проблем и появившиеся в последнее время компараторы постоянного тока используют опорные токи 1А и 62,5мА с нестабильностью порядка 10^{-5} . Для получения опорного тока 1А до сих пор использовали прямой способ, когда в качестве сигнала обратной связи в усилителе постоянного тока (УПТ) берется разностный сигнал между опорным напряжением $U_{\text{оп}}$ и U_{R} , где $U_{\text{R}} = I_{\text{ЭТ}} \cdot R_{\text{ЭТ}}$. [1]. В случае, когда значение $I_{\text{ЭТ}}$ относительно велико и составляет порядка 1А, достигнуть таким путем требуемой нестабильности на уровне 10^{-5} весьма трудно, так как в токозадающем резисторе $R_{\text{ЭТ}}$ возникают ударные электрический и тепловой процессы с длительным затуханием. При этом на $R_{\text{ЭТ}}$ рассеивается значительная мощность, что ведет к ухудшению стабильности его характеристик. Все это осложняется тем, что имеющиеся прецизионные резисторы обладают температурным коэффициентом сопротивления (ТКС) на уровне $10^{-5} 1/^\circ\text{C}$, поэтому $R_{\text{ЭТ}}$ помещается в термостат, что накладывает определенные ограничения на допустимую рассеиваемую мощность и габаритные размеры резистора.

По этим причинам при разработке новой системы эталонных токов был выбран путь* получения нескольких токов от сравнительно небольшого первичного $I_{\text{ЭТ}}$ с использованием малогабаритных магнитных компараторов постоянного тока (МК), основанный на тех же принципах, что и системы стабилизации больших токов [2]. В результате предварительных проработок и исследований в качестве первичного эталонного тока выбран предел 100-150мА, что позволило найти разумный компромисс между мощностью, рассеиваемой на $R_{\text{ЭТ}}$, и возможностью разместить задающую ($W_{\text{зад}}$) и компенсационную ($W_{\text{комп}}$) обмотки на малогабаритных сердечниках МК. В опытном образце системы эталонных токов величина $I_{\text{ЭТ}}$ составляет около 145мА.

* - Способ предложен Калиниченко В.В.



В общем виде структура системы эталонных токов представлена на рис.1. Система включает в себя источник первичного эталонного тока (ИЭТ), два МК, модуляционный генератор (МГ), два контура автокомпенсации, имеющих УПТ и регуляторы тока (РЭ), а также дополнительные источники тока (ИТ).

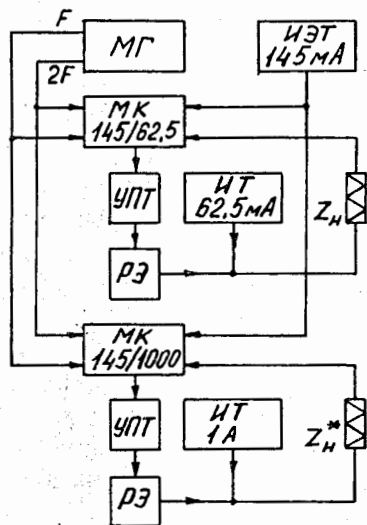


Рис.1. Блок-схема системы эталонных токов.

Рис.2. Принципиальная схема первичного ИЭТ.

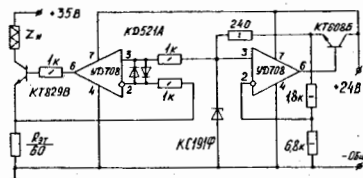


Схема первичного источника эталонного тока 145mA приводится на рис.2. Он состоит из источника опорного напряжения (УД708, КТ608Б, КС191Ф) и стабилизатора тока (УД708, КТ829В, $R_{ЭТ}$). Резистор $R_{ЭТ}$ изготовлен из манганинового провода. Точная регулировка тока отсутствует, т.к. мы считаем, что подстроечные резисторы могут служить дополнительным источником погрешности. Сопротивление нагрузки $Z_{н}$ представляет собой последовательное соединение сопротивлений задающих обмоток обоих МК и соответствующих обмоток дросселей (см. ниже). Весь ИЭТ, за исключением регулирующего транзистора, помещен в активный термостат. Схема управления и конструкция термостата описаны в работе [3]. В рабочем состоянии температура в термостате равна $+50^{\circ}\text{C}$ и поддерживается с точностью до $0,5^{\circ}\text{C}$.

Используемые МК на второй гармонике представляют собой совокупность магнитного модулятора (ММ), работающего с удвоением частоты [4], и двухполупериодного транзисторного фазового детектора [5] в качестве схемы выделения сигнала разбаланса модулятора удвоенной частоты модуляции $2f$, пропорционального разности ампер-витков ММ и используемого в контуре обратной связи. ММ изготовлены на стандартных ленточных кольцевых сердечниках $35 \times 25 \times 5\text{мм}$ из пермаллоя 79НМ, помещенных в защитные футляры из пластмассы. Модуляционные обмотки содержат по 1200 витков из провода ПЭВ-2 диам. $0,21\text{мм}$. Для достижения необходимой точности сравнения токов в МК ($I_{зад.} = I_{ЭТ}$, $I_{комп1} = 1\text{А}$ и $I_{комп2} = 62,5\text{мА}$), т.е. степени стабилизации токов компенсации, с учетом того, что собственная нестабильность МК составляет $10^{-3} - 10^{-4}$ на $1\text{А} \cdot \text{виток}$, уровень сравнения токов в МК взят равным $I_{зад.} \cdot W_{зад.} = I_{комп.} \cdot W_{комп.} = 100\text{А} \cdot \text{виток}$. Это позволяет получить нестабильность характеристик собственно МК на уровне $10^{-5} - 10^{-6}$. Задающая и компенсационная обмотки обоих ММ выполнены секционированными, т.к. величина $I_{ЭТ}$ вследствие разброса параметров источника опорного напряжения (ИОН) и $R_{ЭТ}$ не равна точно 145мА , и для получения $I_{ЭТ1} = I_{комп1} = 1\text{А}$ и $I_{ЭТ2} = I_{комп2} = 62,5\text{мА}$ приходится подбирать соотношение количества витков $W_{зад.}$ и $W_{комп.}$. С помощью переключения секций обмоток ток $62,5\text{мА}$ выставляется с точностью до $0,5\text{мА}$, а ток 1А с точностью до 1мА , что составляет, соответственно, около 1% и $0,1\%$.

Выходная характеристика используемых МК приведена на рис.3 (кривая "а"). Здесь $\Delta I = I_{зад.} \cdot W_{зад.}$ а $U_{фд}$ - напряжение на выходе фазового детектора. Из нее видно, что МК имеют рабочую зону $\pm 20\text{А} \cdot \text{виток}$ (участок с положительным сопротивлением) с невысокой чувствительностью и "ложными" нулями в точках $\pm 70\text{А} \cdot \text{виток}$. Низкая чувствительность проявляется в медленной работе контура автокомпенсации и объясняется тем, что для ММ с удвоением частоты коэффициент усиления $K = 4\pi / 3 \cdot f \cdot L / R$, где L и R - индуктивность и активное сопротивление цепи постоянного тока ММ [4]. Из-за малой массы материала сердечников

индуктивность $W_{\text{зад.}}$ и $W_{\text{комп.}}$ мала. Для увеличения индуктивности необходимо включить дроссели в цепи $I_{\text{ЭТ.}}$, $I_{\text{ЭТ1}}$ и $I_{\text{ЭТ2}}$. Но при простом последовательном включении требуются дроссели со значительными габаритами и массой сердечников, т.к. их железо будет сильно насыщаться полем постоянного тока, и работать они будут с низкой эффективностью. Выход видится в применении дросселей с размагничиванием, где постоянная составляющая напряженности магнитного поля в сердечнике компенсируется встречным полем другого постоянного тока, в результате чего насыщение материала сердечника минимально, и его магнитная проницаемость μ практически не уменьшается. В качестве взаимно размагничивающих токов используются пары $I_{\text{ЭТ}}$ и $I_{\text{ЭТ1}}$, $I_{\text{ЭТ.}}$ и $I_{\text{ЭТ2}}$ (рис. 4).

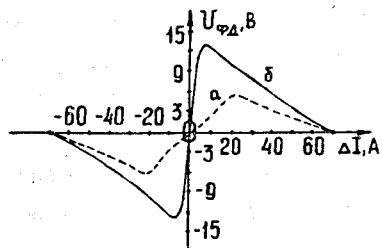


Рис. 3. Выходные характеристики МК.

Проведенные исследования показали, что даже при использовании в дросселе небольших по размеру стандартных магнитопроводов ЦЭМ-50вт для малого разбаланса модулятора чувствительность МК в зоне разбаланса 1-2,5А-виток повышается в 20-25 раз при одновременном сужении рабочей зоны до $\pm 7\text{А}\cdot\text{виток}$. Повышение чувствительности адекватно отражается на быстрейшем действии контуров автокомпенсации. На рис. 3(кривая "б") приводится выходная характеристика того же МК при использовании в цепях сравниваемых токов дросселей с размагничиванием.

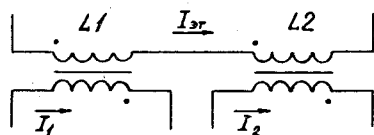


Рис. 4. Схема включения обмоток дросселей с размагничиванием.

Рабочая зона МК узкая (всего $\pm 7\text{А}\cdot\text{виток}$). Поэтому при включении источника 145мА компаратор оказывается в "ложном" нуле, и его необходимо предварительно ввести в рабочую зону. Для этого применяются дополнительные компенсирующие источники тока 1А и 62,5мА (рис. 1). Они выполнены по той же схеме, что ИЭТ-145мА, не термостатированы, имеют интегральную нестабильность не хуже 10^{-4} и включаются параллельно регулирующим элементам контуров автокомпенсации, создавая в $W_{\text{комп.}}$ ток $I_{\text{доп.}}$ определяемый из уравнения

$$I_{\text{ЭТ.}} \cdot W_{\text{зад.}} = I_{\text{комп.}} \cdot W_{\text{комп.}} = I_{\text{доп.}} \cdot W_{\text{комп.}} + \Delta I_{\text{ак.}}$$

При этом используется только часть характеристики МК в области положительных значений ΔI , что позволяет упростить выходной каскад контура автокомпенсации и использовать для него однополярный источник питания. Уровень разбаланса МК, равный $\Delta I_{\text{ак.}} = 2\text{А}\cdot\text{виток}$, определяет рабочую точку контура автокомпенсации. Эта цифра кажется нам оптимальной, т.к. она значительно превосходит величину возможных случайных отклонений $I_{\text{доп.}}$ и находится в зоне максимальной чувствительности (рис. 3).

Модуляционные обмотки ММ питаются от задающего генератора двухполярным напряжением, имеющим форму меандра, с амплитудой 50В и частотой $f=300\text{Гц}$. Генератор выполнен по схеме, управляемой напряжением, с фазовой автоподстройкой частоты по частоте питающей сети 50Гц. Это объясняется тем, что при отсутствии синхронизации с сетью фазовые сдвиги соответствующей гармоники сети относительно второй гармоники модулирующего напряжения воспринимаются МК как полезный сигнал, и стабильность устройства снижается до уровня $2 \cdot 10^{-4}$.

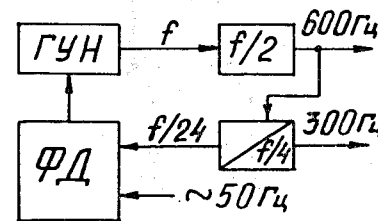


Рис. 5. Блок-схема модуляционного генератора.

30 до 50 Ом. При этом, в случае применения ключей без компенсации изменения сопротивления нагрузки, мощность, рассеиваемая на регуляторе тока 1А, может изменяться от 15 до 35 Вт, что нежелательно по критерию допустимого температурного режима работы транзистора. Для такого варианта применения в ИЭТ-1А предусмотрен тиристорный стабилизатор напряжения на коллекторе регулятора тока. Он основан на тех же принципах, что и регулятор $U_{кЭ}$, описанный в работе [1], но выполнен на интегральных элементах. При изменении сопротивления нагрузки 47,5 Ом на $\pm 7,5$ Ом изменение тока составляет $\pm 5 \cdot 10^{-5}$. Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 7.

Исследования системы эталонных токов в лабораторных условиях показали, что после двухчасового прогрева временной дрейф тока практически не наблюдается, нестабильность токов 1А и 62,5мА поддерживается на уровне $\pm 2,0 \cdot 10^{-5}$. Для измерений использовался дифференциальный вольтметр В2-34.

Литература

1. Денисов Ю.Н., Калиниченко В.В. ОИЯИ, 13-7488, Дубна, 1973.
2. Калиниченко В.В. ОИЯИ, 13-8373, Дубна, 1974.
3. Василевская Д.П., Калиниченко В.В., Кузнецова М.С. ОИЯИ, 13-84-576, Дубна, 1984.
4. Розенблат М.А. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. М.: Наука, 1967.
5. Терехов В.М. Элементы автоматизированного электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1987.
6. Источники электропитания на полупроводниковых приборах. М.: Советское Радио, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел
31 мая 1991 года.