

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P13-96-303

В.В.Калиниченко, С.Б.Федоренко

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
ПОСТОЯННОГО ТОКА
С МАГНИТНЫМ СРАВНЕНИЕМ

1996

Измерительный преобразователь постоянного тока с магнитным сравнением

Обсуждается измерительный преобразователь постоянного тока (ИППТ) с магнитным сравнением постоянных токов, содержащий преобразователь неравновесия намагничивающих сил (н.с.); регулятор постоянного тока, эталонный резистор и детектор насыщения магнитопроводов. ИППТ представляет собой замкнутую систему авторегулирования следящего типа. В ИППТ используется преобразователь неравновесия н.с., в основу которого положено детектирование асимметрии намагничивающего тока. Здесь реализован режим работы преобразователя неравновесия н.с. с оптимальным уровнем возбуждения.

Приведены принципиальные схемы основных узлов ИППТ, конструкция магнитомодуляционного узла и результаты испытаний опытного образца ИППТ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1996

DC Transducer with Magnetic Comparison

A direct-current transducer (DCT) with magnetic comparison of direct currents is discussed. It comprises a magnetomotive force (m.f.) disequilibrium sensor, a DC control, a reference resistor, and a magnetic circuit saturation detector. The DCT is a closed-loop servo-type automatic control system. Its m.f. disequilibrium sensor is based on detecting the magnetization current asymmetry and operates in a mode with the optimum excitation level.

The circuit diagrams of the main DCT units, the design of the magnetic modulation unit, and the results of the prototype DCT tests are given.

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

Измерительный преобразователь постоянного тока (ИППТ), в котором осуществляется преобразование измеряемого тока I в адекватное ему напряжение U , является необходимым узлом измерительной или стабилизационной системы постоянного тока большой силы. Широкое распространение получили ИППТ с магнитным сравнением постоянных токов. Несколько вариантов таких ИППТ обсуждаются в работе [1].

Предложенный в настоящей работе вариант ИППТ с магнитным сравнением постоянных токов, упрощенная блок-схема которого показана на рис.1, содержит тороидальные магнитопроводы T_1 и T_2 (рабочие магнитопроводы), магнитный экран T_3 , обмотки возбуждения W_1 и W_2 , измерительную обмотку W , компенсационную обмотку W_k , а также блок возбуждения и детектирования асимметрии намагничивающего тока магнитопроводов 1. Все эти узлы в совокупности образуют собственно преобразователь неравновесия намагничивающих сил (н.с.) постоянных токов. Кроме того, ИППТ содержит регулятор постоянного тока 2, эталонный резистор 3 и детектор насыщения магнитопроводов 4.

ИППТ представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования следящего типа. Действие контура авторегулирования направлено на поддержание баланса н.с. постоянных токов, действующих на магнитопроводы преобразователя неравновесия н.с.. Выходным напряжением ИППТ является падение напряжения U на эталонном резисторе 3, создаваемое током компенсаций I_k , величина тока I_k , в свою очередь, определяется в установившемся режиме величиной измеряемого ток I . Таким образом, измеряемый ток I определяется как $I = KU$, где K - постоянная ИППТ, $K = N_k/NR$, N_k и N - число витков компенсационной W_k и измерительной W обмоток соответственно, R - номинальное значение сопротивления эталонного резистора 3.

В рассматриваемом ИППТ используется преобразователь неравновесия н.с. (ампер-витков), в основу которого положено детектирование асимметрии намагничивающего тока [2]. Здесь реализован режим работы преобразователя неравновесия н.с. с оптимальным уровнем возбуждения в отличие от описанных в [2-12] устройств, в которых используется режим работы с высоким уровнем возбуждения.

Рассмотрим вкратце принцип действия преобразователя неравновесия н.с., в основу которого положено детектирование асимметрии намагничивающего тока. На тороидальные рабочие магнитопроводы T_1 и T_2 действуют в противоположных направлениях

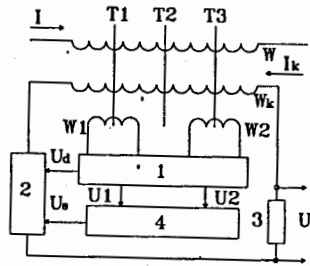


Рис.1. Упрощенная блок-схема ИППТ с магнитным сравнением

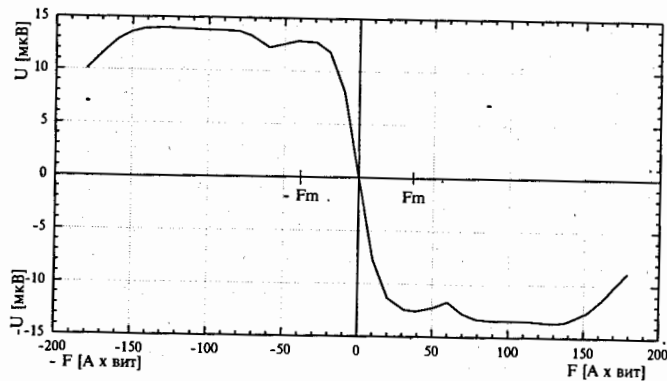


Рис.2. Выходная статическая характеристика преобразователя неравновесия н.с. $U_d=f(F)$

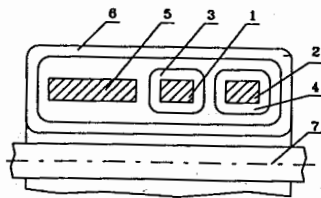


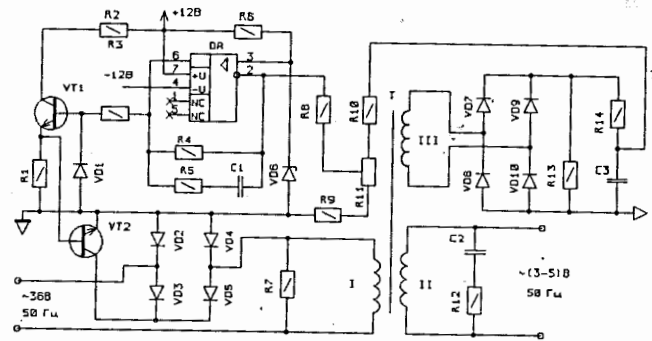
Рис.3. Конструктивная схема магнитомодуляционного узла

н.с. I_N и I_{kNk} , создаваемые подлежащими сравнению постоянными токами I и I_k . На обмотки возбуждения W_1 и W_2 , имеющиеся на этих магнитопроводах, подается переменное напряжение возбуждения. При отсутствии подмагничивания, рабочих магнитопроводов полем постоянного тока (т.е. в режиме равновесия н.с.) протекающий по цепи обмоток возбуждения намагничивающий ток описывается функцией времени, зеркально-симметричной относительно оси абсцисс (оси времени t). При подмагничивании рабочих магнитопроводов полем постоянного тока (т.е. при неравновесии н.с.) указанная симметрия намагничивающего тока нарушается. Путем соответствующего преобразования намагничивающего тока (детектирования асимметрии намагничивающего тока) выделяется постоянное напряжение, величина и знак которого в рабочей зоне соответствуют величине и знаку неравновесия (разбаланса) н.с. постоянных токов. Это напряжение и является выходным сигналом преобразователя неравновесия н.с.

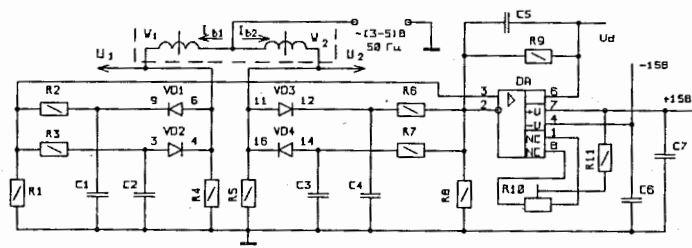
При работе преобразователя неравновесия н.с. в режиме с оптимальным уровнем возбуждения рабочей зоной его выходной статической характеристики является относительно узкий ее участок от $-F_m$ до $+F_m$ (см. рис.2). Выходная статическая характеристика преобразователя неравновесия н.с. представляет собой зависимость $U_d=f(F)$, где U_d - выходное напряжение преобразователя неравновесия н.с., F - разбаланс н.с. постоянных токов, для ИППТ рис.1 $F=I_N-I_{kNk}$.

В процессе работы разбаланс н.с. должен быть меньше $|F_m|$. В противном случае нормальная работа ИППТ нарушается, происходит насыщение рабочих магнитопроводов. На выходе детектора насыщения магнитопроводов 4 появляется напряжение U_s , под действием которого ток компенсации I_k , вырабатываемый регулятором 2, относительно медленно изменяется от $-I_{kNk}$ до $+I_{kNk}$. При этом обеспечивается ввод преобразователя неравновесия н.с. в рабочую зону, если $|I_{kNk}| > |I_{mN}|$, где I_m - максимальное значение измеряемого тока.

Магнитопроводы и обмотки, входящие в ИППТ, образуют в сборе так называемый магнитомодуляционный узел (ММУ). При макетировании обсуждаемого ИППТ был использован ММУ простейшей конструкции. Его конструктивная схема представлена на рис.3. Здесь 1 и 2 - соответственно тороидальные магнитопроводы T_1 и T_2 ; 3 и 4 - соответственно обмотки возбуждения W_1 и W_2 ; 5 - магнитопровод, условно называемый магнитным экраном T_3 ; 6 - компенсационная обмотка W_k ; 7 - измерительная обмотка W . Измерительная обмотка 7 выполнена в виде одного проходного витка квадратного сечения ($\sim 700 \text{ мм}^2$). Через массивный магнитопровод 5 (магнитный экран)



а)



б)

Рис.4. Принципиальная схема узлов, входящих в блок возбуждения и детектирования асимметрии намагничивающих токов: а - узел возбуждения, б - узел детектирования

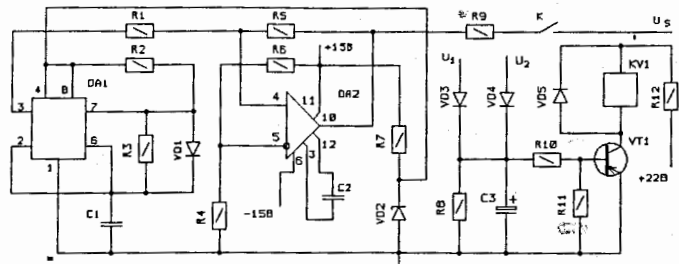


Рис.5. Принципиальная схема детектора насыщения магнитопроводов ИППТ

осуществляется прямая магнитная (трансформаторная) связь между обмотками измерительной W и компенсационной W_k . При определенных условиях происходит трансформация (практически без искажений) переменной составляющей измеряемого тока в цепь компенсационной обмотки, благодаря чему ИППТ имеет широкую полосу пропускания.

Приведем основные конструктивные данные ММУ. Размеры магнитопроводов $D_n = 83$ мм, $D_v = 75$ мм, высота - 10 мм для T_1 и T_2 , $D_n = 85$ мм, $D_v = 75$ мм, высота - 40 мм для T_3 . Магнитопроводы выполнены из ленточного аморфного железа марки 71КНСП (витые, кольцевой формы), толщина ленты $\sim 0,03$ мм. Каждый магнитопровод заключен в защитный каркас из пластмассы. Обмотки возбуждения W_1 и W_2 содержат по 1000 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,45 мм, компенсационная обмотка W_k содержит 1000 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,81 мм.

На рис.4 представлены принципиальные схемы узлов блока возбуждения и детектирования асимметрии намагничивающего тока (рис.1): схема а - узел возбуждения, и схема б - узел детектирования. Узел возбуждения представляет собой компенсационный стабилизатор переменного напряжения (стабилизируется среднее значение за 0,5 периода переменного напряжения). Стабилизатор содержит силовой трансформатор T с первичной I , вторичной II и измерительной III обмотками. Переменное напряжение 36 В, 50 Гц поступает на первичную обмотку I трансформатора T через последовательный регулятор переменного напряжения, содержащий диодный мост VD_2 - VD_5 и транзистор VT_2 . Выходное стабилизированное переменное напряжение 3-5 В, 50 Гц снимается с обмотки II .

Управляющий вход регулятора переменного напряжения (база VT_2) подключен к выходному каскаду (эмиттерный повторитель VT_1) измерительно-усилительного канала стабилизатора. Измерительно-усилительный канал содержит измерительную обмотку III , диодный мостовой выпрямитель VD_7 - VD_{10} , сглаживающий фильтр $R_{14}C_3$, параметрический стабилизатор опорного напряжения (VD_6 , R_6) и схему сравнения, выполненную на операционном усилителе DA . Подстроечный резистор R_{11} служит для регулировки выходного напряжения стабилизатора.

Узел детектирования содержит измерительные резисторы R_4 и R_5 , четыре пиковых детектора (VD_{1C1} , VD_{2C2} , VD_{3C4} и VD_{4C3}), резистивные вычитатели напряжений (R_1 , R_2 , R_3 и R_6 , R_7 , R_8), вычитающий усилитель DA . Чувствительность преобразователя н.с., выполненного на основе описанных здесь узлов возбуждения и

детектирования, а также рассмотренного выше ММУ, составляет $\sim 1,5\text{В/А}$.

Принципиальная схема детектора насыщения магнитопроводов 4 показана на рис.5. Детектор 4 содержит полупроводниковые вентили ВД3 и ВД4, резистор R8 и конденсатор С3, пороговую схему на транзисторе VT1 с электромагнитным реле KV1 в качестве исполнительного устройства, генератор переменного напряжения прямоугольной формы (меандр), выполненный на микросхемах ДА1 и ДА2. Частота генератора порядка 0,1 Гц. На микросхеме ДА1 выполнен задающий генератор, вырабатывающий однополярные импульсы прямоугольной формы. Выходной каскад генератора переменного напряжения прямоугольной формы выполнен на ДА2.

На аноды полупроводниковых вентилях ВД3 и ВД4 подаются напряжения U1 и U2 с резисторов R4 и R5 узла детектирования (рис.4б). При насыщении магнитопроводов ИППТ постоянное напряжение на конденсаторе С3 резко увеличивается, что приводит к срабатыванию пороговой схемы и замыканию контакта К реле KV1. Детектор насыщения магнитопроводов работает во взаимодействии с регулятором постоянного тока 2. Совместное действие этих узлов будет рассмотрено ниже.

Принципиальная схема регулятора постоянного тока 2 представлена на рис.6. Он содержит оконечный усилитель тока на транзисторах VT1 - VT4 и усилитель напряжения, выполненный на операционном усилителе ДА. К выходу регулятора постоянного тока подключены последовательно соединенные компенсационная обмотка Wк и эталонный резистор 3. На неинвертирующий вход ДА через цепи коррекции R1, R2, С2 (первый вход регулятора 2) подается напряжение Ud (выходное напряжение преобразователя неравновесия н.с.). Таким образом замыкается контур авторегулирования и любые изменения измеряемого тока I отслеживаются выходным напряжением U.

К инвертирующему входу ДА кроме элементов цепи отрицательной обратной связи (R5, R6 и С3) подключены резистор R4 и конденсатор С1. Точка соединения R4 и С1 является вторым входом регулятора 2. При нормальной работе ИППТ второй вход регулятора 2 отключен и не оказывает влияния на работу ИППТ. Нарушение нормальной работы ИППТ приводит к насыщению магнитопроводов преобразователя неравновесия н.с. Детектор насыщения магнитопроводов 4 реагирует на это насыщение и в результате его реакции происходит, как отмечалось выше, замыкание контакта К реле KV1. При этом через относительно высокоомный резистор R9 (см.рис.5) конденсатор С1 подключается к выходу генератора двухполярного переменного напряжения. На конденсаторе С1 формируется двухполярное пилообразное напряжение

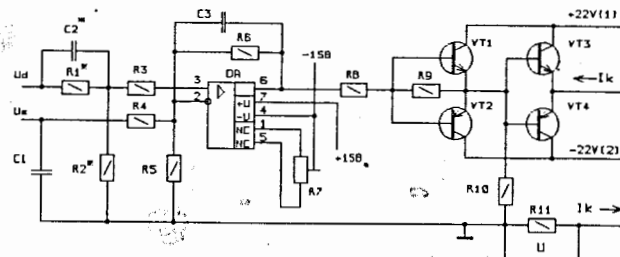


Рис.6. Принципиальная схема регулятора постоянного тока

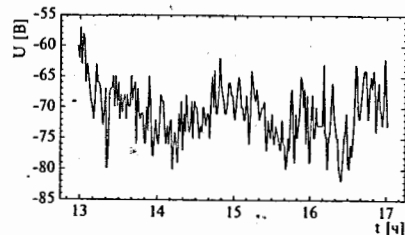


Рис.7. Дрейф нуля ИППТ, $U=f(t)$

U_B , которое через резистор R_4 подается на инвертирующий вход ДА. Под действием напряжения U_B , как объяснялось выше, происходит автоматический ввод преобразователя неравновесия н.с. в рабочую зону. После ввода контакт К размыкается и ИППТ из режима ввода переходит в нормальный рабочий режим.

Одним из основных параметров является дрейф нуля ИППТ. На рис.7 приведена экспериментально полученная зависимость $U = f(t)$ при отсутствии измеряемого тока ($I=0$). Приведенная кривая представляет по существу временной дрейф нуля ИППТ, так как в течение времени записи воздействие дестабилизирующих факторов было несущественным (температура окружающей среды изменялась на 2°C , напряжение силовой сети составляло порядка 3%). Дрейф нуля в этих условиях за 4 часа испытаний составил порядка 20 мкВ при чувствительности ИППТ 1,8 мВ/А. Таким образом, составляющая погрешности ИППТ, обусловленная дрейфом нуля, составляет $\sim 1,1 \cdot 10^{-4}$ при величине измеряемого тока 100 А и соответственно уменьшается с увеличением измеряемого тока. Основная погрешность ИППТ определяется погрешностью и нестабильностью эталонного резистора 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спектор С.А. Измерение больших постоянных токов. -Л.: Энергия, 1978.
2. Калиниченко В.В. - Сообщение ОИЯИ Р13-93-349, Дубна, 1993.
3. Калиниченко В.В. - А.с. № 1180862 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1985, N 35, с.193.
4. Батманова Э.К. и др. - Сообщение ОИЯИ 13-87-781, Дубна, 1987.
5. Ахманов В.В. и др. - Сообщение ОИЯИ Р13-90-532, Дубна, 1990.
6. Батманова Э.К. и др. - Сообщение ОИЯИ Р13-91-406, Дубна, 1991.
7. Калиниченко В.В., Крживанек М. - А.с. N1288665 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1987, N5, с.191.
8. Калиниченко В.В. - А.с. N 1451612 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1989, N2, с.181.
9. Калиниченко В.В. -А.с. N 1647439 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1991, N17, с.149.
10. Калиниченко В.В. -А.с. N 1645947 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1991, N 16, с.185.
11. Батманова Э.К. и др. - А.с. N 1652973 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1991, N 20, с.181.
12. Батманова Э.К., Калиниченко В.В. -А.с. N 1467545 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1989, N 11, с.191.

Рукопись поступила в издательский отдел
19 августа 1996 года.