

Измерительный преобразователь постоянного тока

В.В.Калиниченко, С.Б.Федоренко

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

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 $T1$ и $T2$ (рабочие магнитопроводы), магнитный экран $T3$, обмотки возбуждения $W1$ и $W2$, 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 (НС) постоянных токов. Кроме того, ИППТ содержит регулятор постоянного тока 2, эталонный резистор 3 и детектор насыщения магнитопроводов 4.

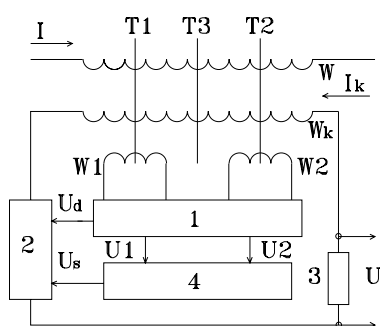


Рис. 1

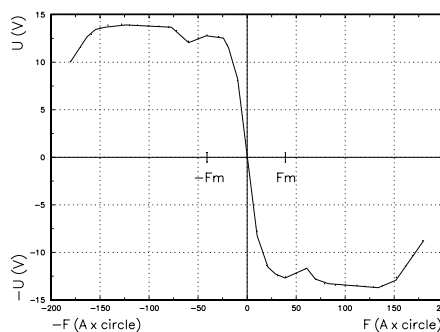


Рис. 2

ИППТ представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования следящего типа. Действие контура авторегулирования направлено на поддержание баланса НС постоянных токов, действующих на магнитопроводы преобразователя неравновесия НС. Выходным напряжением ИППТ является падение напряжения U на эталонном резисторе 3, создаваемое током компенсации I_k , величина тока I_k , в свою очередь, определяется в установившемся режиме величиной измеряемого тока 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 НС (ампер-витков), в основу которого положено детектирование асимметрии намагничивающего тока [2]. Здесь реализован режим работы преобразователя неравновесия

НС с оптимальным уровнем возбуждения в отличие от описанных в [2–9] устройств, в которых используется режим работы с высоким уровнем возбуждения.

При работе преобразователя неравновесия НС 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 НС представляет собой зависимость $U_d = f(F)$, где U_d — выходное напряжение преобразователя неравновесия НС, F — разбаланс НС постоянных токов, для ИППТ (рис. 1) $F = IN - I_k N_k$.

В процессе работы разбаланс НС 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 $-I_{km}$ до $+I_{km}$. При этом обеспечивается ввод преобразователя неравновесия НС в рабочую зону, если $|I_{km} N_k| > |I_m N|$, 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.

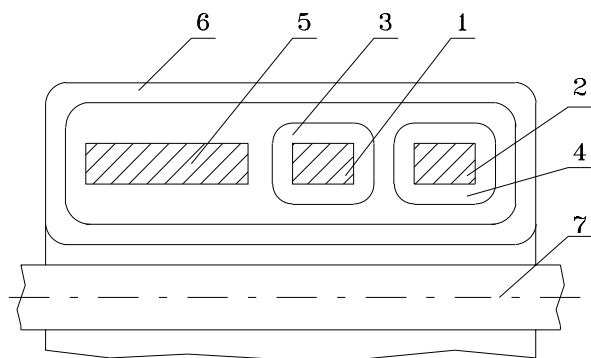


Рис. 3

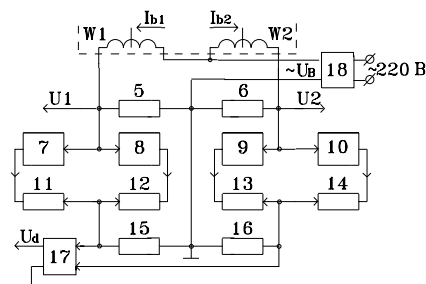


Рис. 4

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) 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: $D_n = 83 \text{ мм}$; $D_e = 75 \text{ мм}$; высота — 10 мм для T_1 и T_2 ; $D_n = 85 \text{ мм}$, $D_e = 75 \text{ мм}$; высота — 40 мм для T_3 . Магнитопроводы выполнены из ленточного аморфного железа марки 71КНСР (витые, кольцевой формы), толщина ленты $\sim 0,03 \text{ мм}$. 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 представлена упрощенная блок-схема блока возбуждения и детектирования асимметрии намагничивающего тока магнитопроводов 1. Блок 1 содержит резисторы 5,6,11–16, пиковые детекторы 7–10, вычитающий усилитель 17 и стабилизатор переменного напряжения 18 (стабилизируется среднее значение за 0,5 периода переменного напряжения в диапазоне (3÷5) В, 50 Гц. Нестабильность выходного напряжения этого стабилизатора составляет $\pm 0,2\%$ при изменении напряжения сети $\pm 10\%$. Преобразователь неравновесия НС, выполненный на основе обсуждаемых в этом и предыдущем абзаце узлов, имеет показанную на рис. 2 выходную статическую характеристику (получена экспериментально).

Упрощенная блок-схема детектора насыщения магнитопроводов 4 показана на рис. 5. Детектор 4 содержит полупроводниковые вентили 19 и 20, резистор 21 и конденсатор 22, пороговую схему 23 с электромагнитным реле в качестве исполнительного устройства, генератор переменного напряжения прямоугольной формы (меандр) 24 и резистор 26. При насыщении магнитопроводов ИППТ постоянное напряжение на конденсаторе 22 резко увеличивается, что приводит к срабатыванию пороговой схемы 23 и к замыканию нормально разомкнутого контакта 25, при этом на выходе детектора насыщения появляется переменное напряжение пилообразной формы (формируется из меандра на конденсаторе 27 схемы рис. 6).

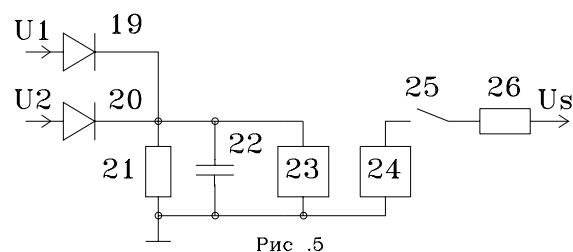


Рис .5

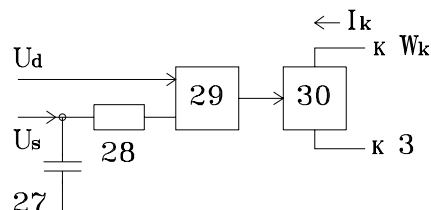


Рис .6

Регулятор постоянного тока 2, упрощенная блок-схема которого показана на рис. 6, содержит конденсатор 27, резистор 28, суммирующий (вычитающий) усилитель 29 и оконечный усилитель тока 30 (здесь, как и на рис. 4, не показаны цепи, обеспечивающие устойчивость отдельных узлов и системы авторегулирования в целом). К выходу регулятора постоянного тока 2 (соответственно к выходу оконечного усилителя тока 30) подключены последовательно соединенные компенсационная обмотка W_k и эталонный резистор 3. На один из входов регулятора 2 поступает напряжение U_d с выхода преобразователя неравновесия НС, таким образом замыкается контур авторегулирования, и любые изменения измеряемого тока I отслеживаются выходным напряжением U . 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 НС. Детектор насыщения магнитопроводов 4 реагирует на это насыщение и в результате его реакции на второй вход регулятора 2 поступает напряжение U_s , под действием которого, как объяснялось выше, происходит автоматический ввод преобразователя неравновесия НС в рабочую зону.

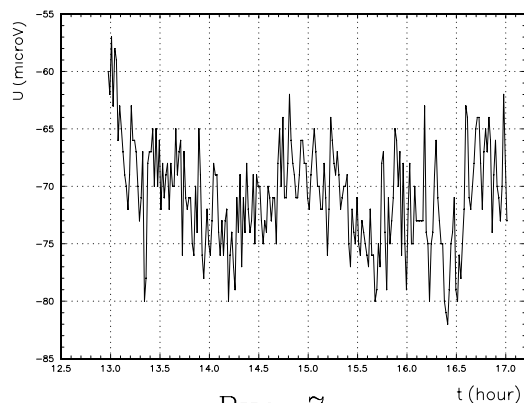


Рис. 7

Одним из важных 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.

Список литературы

- [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. N 1180862 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1985, № 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, № 5, с.191.
- [8] Калиниченко В.В. А. с. N1451612 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1989, № 2, с.181.
- [9] Калиниченко В.В. – А. с. N 1647439 (СССР). Опубликовано в ОИ, 1991, № 17, с.149.