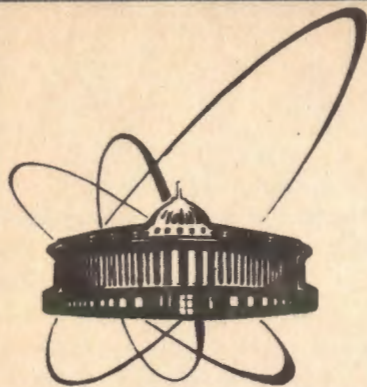


91-424



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P13-91-424**

**М.А.Воеводин, Ю.В.Гусаков, Н.А.Коруков,  
Ш.З.Сайфулин, И.Н.Яловой**

**ВЫСОКОТОЧНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ  
ПОСТОЯННЫХ ТОКОВ КИЛОАМПЕРНОГО ДИАПАЗОНА**

Направлено в журнал "Приборы и техника эксперимента"

**1991**

В системах возбуждения большого числа магнитов и линз, используемых в ускорительной технике, возникает необходимость измерений высокой точности (не хуже  $10^{-4}$ ) величины статического или динамического тока нагрузки. Прецизионные манганиновые шунты нуждаются в водяном охлаждении, имеют большие габариты и гальваническую связь с измерительной цепью.

Известны разработки прецизионных бесконтактных измерителей постоянного тока, работающих в килоамперном диапазоне<sup>1-2</sup>. В этих измерительных системах реализуется принцип выделения второй гармоники частоты возбуждения с последующей компенсацией магнитного потока, создаваемого измеряемым током: Магнитные модуляторы и компараторы в таких системах построены на тороидальных сердечниках из магнитомягких материалов. Основными требованиями, которым должны удовлетворять магнитомягкие материалы, являются высокая динамическая магнитная проницаемость и небольшая величина коэрцитивной силы. Этим требованиям в значительной степени удовлетворяют железно-никелевые сплавы — пермаллой, которые и используются во всех известных модуляторах и компараторах.

В последнее время среди магнитомягких металлов появился новый класс, называемый аморфным сплавом, который по основным показателям превосходит пермаллой<sup>3</sup>. Кроме того, изделия из аморфных сплавов технологичны, так как можно не подвергать изделия термоотжигу. В этой связи нами была предпринята попытка изготовить прецизионный измеритель тока на основе аморфного сплава типа 71КНСР, который имел следующие характеристики:

$$\mu_{\max} = 4 \cdot 10^5, B_s = 0,5 \text{ Тл}, H_c = 0,3 \text{ А/м.}$$

Принцип действия бесконтактного измерителя основан на известном компенсационном методе измерения с использованием магнитного компаратора с экранированными сердечниками<sup>4</sup>. Конструкция измерителя такова, что она представляет собой переносной прибор на базе стандартного конструктива "Вишня" и датчика, способного работать на удалении от электронного прибора до 50 м.

#### ОПИСАНИЕ ДАТЧИКА

Датчик (рис.1) состоит из четырех тороидальных сердечников, выполненных из ленты аморфного сплава типа 71КНСР толщиной 0,02 мм. Сечение сердечников 1,2 — 9,5x1,2 мм; сердечников 3, 4 — 35x0,75 мм. Для равномерного намаг-

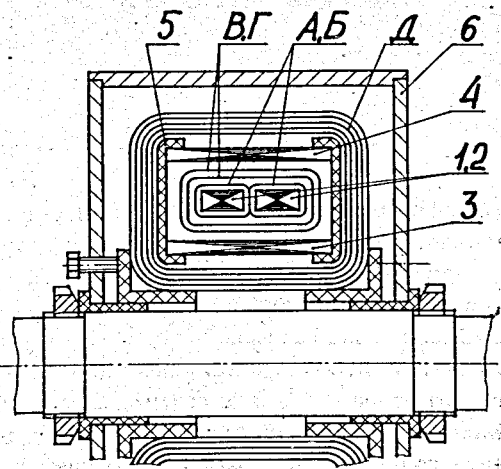


Рис. 1. Конструкция датчика.

ничивания сердечников магнитного модулятора — компаратора 1,2 при числе витков обмотки возбуждения 18, последние изготовлены из тонкого фольгированного стеклотекстолита необходимой конфигурации. Ширина витка обмотки возбуждения 19 мм. Относительно небольшое число витков обмотки возбуждения выбрано исходя из высокой магнитной проницаемости аморфного сплава, благодаря чему появляется возможность повышения частоты и использования одной микросхемы К148УН1 в качестве усилителя мощности

генератора возбуждения. Сердечники 3, 4, так же как и 1, 2, намотаны на тонкостенном металлическом каркасе и выполняют роль магнитных экранов. Внутренний сердечник, кроме того, служит для выравнивания магнитного поля, создаваемого измеряемым током. Оба сердечника 3, 4 выполняют роль магнитопровода, когда датчик работает в режиме обычного трансформаторного тока.

Поверх сердечников 1,2 с обмоткой возбуждения (А, Б) наносятся измерительная и симметрирующая обмотки. Все сердечники располагаются внутри каркаса (5) из оргстекла. На каркас наматывается компенсационная обмотка (Д), имеющая 4000 витков провода ПЭВ  $\phi 0,8 \text{ мм}^2$ . Для ослабления влияния неидентичности сердечников 1, 2 введена симметрирующая обмотка, нагруженная на переменное сопротивление.

Тороидальная обмотка с четырьмя сердечниками помещается внутри металлического кожуха (6), изготовленного из магнитной стали.

## ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА

На рис.2 показана принципиальная схема измерителя тока. Генератор возбуждения собран на трех операционных усилителях (ОУ — А1, А3 и А5). На ОУ (А3) собран собственно генератор импульсов треугольной формы. ОУ (А1) является формирователем прямоугольных импульсов, а ОУ (А5) — масштабным усилителем. Схема генератора позволяет получать симметричные прямоугольные импульсы и импульсы треугольной формы с высокой линейностью. С выхода ОУ (А3) сигнал треугольной формы поступает на входы: формирователя прямоугольных импульсов (А1), компаратора (А8) и усилителя мощности для обмоток возбуждения (А2). Сигнал второй гармоники с измерительной обмотки по-

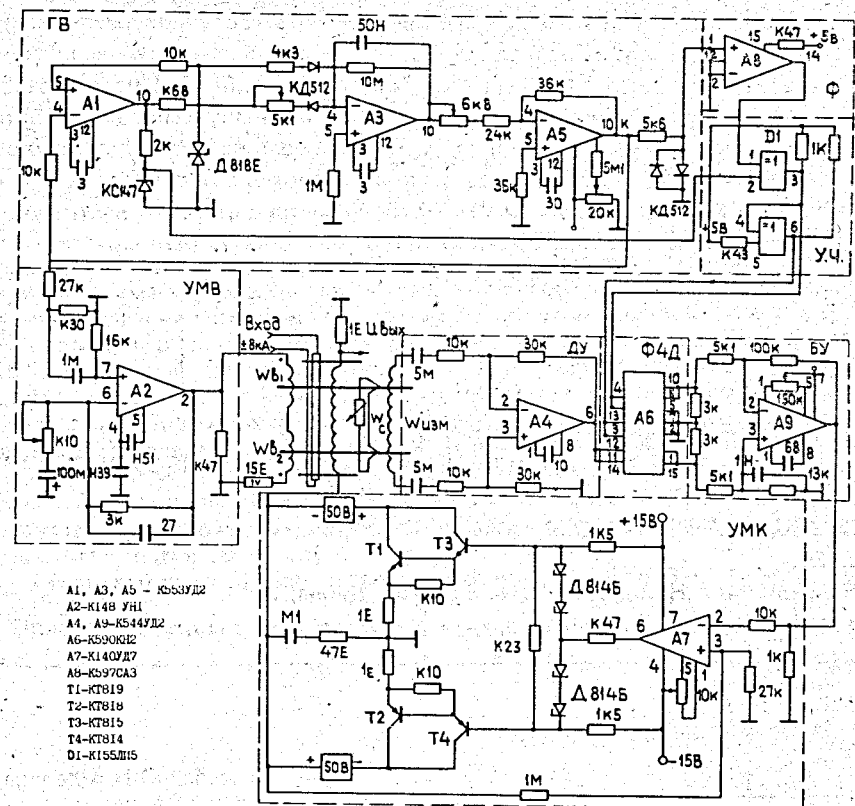


Рис. 2. Принципиальная схема измерителя.

ступает на вход ОУ (А4), работающего в режиме дифференциального усилителя. Далее, выходной сигнал с дифференциального усилителя поступает на фазочувствительный демодулятор (ФЧД), в качестве которого используются аналоговые ключи (А6). Сигналы управления ФЧД формируются компаратором (А8) и микросхемой Д1, работающей в качестве умножителя частоты. Выходной сигнал с ФЧД через буферный усилитель (БУ-А9) поступает на вход усилителя мощности обмотки компенсации, собранного на ОУ (А7) и транзисторах (Т1÷Т4). Применение в усилителе мощности изолированных источников питания упростило выходные каскады. Падение напряжения на сопротивлении величиной в 1 Ом, включенном последовательно с обмоткой компенсации, соответствует измеряемому току.

Использование в датчике аморфного сплава с высокой магнитной проницаемостью сплава позволяет достичь высокого коэффициента стабилизации рабочей точки измерителя и уменьшить величину абсолютной погрешности до  $\pm 3 \text{ мА}$ .

Максимальная величина измеряемого тока 6 кА, а частотный диапазон при измерении пульсации в токе от 0 до 600 Гц. Погрешность относительных измерений в диапазоне токов от  $0,1 I_{\max}$  до  $I_{\max}$  составляет  $\pm 0,8 \cdot 10^{-4}$ . Два образца представленного измерителя используются для измерения импульсного тока длительностью 1,5 с, возбуждающего выводной магнит второго канала медленного вывода пучка из камеры синхрофазотрона <sup>15</sup> / и для измерения постоянного тока питания поворотного магнита инжектора ЛУ-20. Данный прибор может найти также широкое применение в лабораториях ОИЯИ и может быть рекомендован для использования в других научных центрах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баклаков Б.А. и др. — ПТЭ, 1981, № 6, с.77.
2. Appel H.C. — IEEE Transactions on Nuclear Sci., 1977, Vol. NS-24, No.3, p.1810.
3. Осипьян Ю.А. — Вестник АН СССР, 1987, № 9, с.3.
4. Спектор С.А. — Измерение больших постоянных токов. Л.: Энергия, 1978, с.130.
5. Баландиков А.Н. и др. — ОИЯИ, 9-90-152, Дубна, 1990.

Рукопись поступила в издательский отдел

23 сентября 1991 года.