

5960

ЭКЗ. ЧИТ. ЗАЛ

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13-5960



Ю.Н. Денисов, В.В. Калиниченко

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

МАГНИТНЫЙ КОМПАРАТОР  
ПОСТОЯННОГО ТОКА

1971

13-5960

Ю.Н. Денисов, В.В. Калиниченко

МАГНИТНЫЙ КОМПАРАТОР  
ПОСТОЯННОГО ТОКА

ОИЗИ  
БИБЛИОТЕКА

Блок-схема магнитного компаратора постоянного тока приведена на рис. 1. Основными элементами компаратора являются: а) магнитный модулятор на двух сердечниках, действующих по принципу удвоения частоты /1/, соединенный соответствующим образом с модуляционным генератором и фазовым детектором; б) обмотки  $W_1$  и  $W_2$ , общие для обоих сердечников модулятора; через эти обмотки протекают постоянные токи  $I$  и  $I_{эт}$ , подлежащие сравнению /2/.

Дополнительные элементы – магнитный экран и короткозамкнутая обмотка ( $W_{кз}$ ) – улучшают характеристики компаратора. Магнитный экран предназначен для ослабления влияния внешних магнитных полей. Короткозамкнутая обмотка ослабляет действие на компаратор быстрых флюктуаций магнитного потока и улучшает стабильность устройства.

Направление токов  $I$  и  $I_{эт}$  выбирается таким образом, чтобы создаваемые ими м.д.с. в сердечниках магнитного модулятора были направлены навстречу друг другу. Равенство ампер-витков обмоток  $I W_1 = I_{эт} W_2$  регистрируется с помощью магнитного модулятора. Магнитный модулятор с удвоением частоты является наиболее чувствительным из известных магнитных модуляторов и позволяет с очень высокой точностью фиксировать равенство сравниваемых ампер-витков.

При равенстве ампер-витков двух рассматриваемых обмоток справедливо соотношение

$$I = I_{эт} \cdot W_2 / W_1.$$

Таким образом, магнитный компаратор позволяет осуществить "трансформацию" величины измеряемого тока  $I$  в значение  $I_{\text{эт}}$ . Эта "трансформация" выгодна тем, что при соответствующем выборе  $W_2/W_1$  значения  $I_{\text{эт}}$  располагаются в диапазоне, удобном для точных измерений тока. При этом измеритель, непосредственно определяющий  $I_{\text{эт}}$ , может быть проградуирован в значениях  $I$ , так как множитель  $W_2/W_1$  известен.

Магнитные компараторы находят применение в основном для измерения больших токов и калибровки сильноточных эталонных сопротивлений (шунтов). Выполнение равенства  $IW_1 = I_{\text{эт}} W_2$  обеспечивается путем ручной или автоматической регулировки тока  $I_{\text{эт}}$  в соответствии с изменением тока  $I$  при постоянном значении  $W_2/W_1$  /2,3/.

По нашему мнению, целесообразно использовать другой способ достижения равенства  $IW_1 = I_{\text{эт}} W_2$ , а именно: путем изменения  $W_2/W_1$  при постоянном значении эталонного тока  $I_{\text{эт}}$ . Так как первичная обмотка  $W_1$  обычно выполняется в виде одного проходного витка, то поставленная цель достигается подключением нужного числа витков обмотки  $W_2$  к источнику эталонного тока.

Для получения требуемой дискретности сравнения и необходимого диапазона сравнения вторичную обмотку следует разбить на несколько секций и секции питать от отдельных высокостабильных источников тока. При этом в каждой секции необходимо обеспечить возможность подключения нужного числа витков к питающему ее источнику. Количество секций вторичной обмотки компаратора и значения токов, питающих секции, выбираются таким образом, чтобы обеспечить требуемую дискретность и необходимый диапазон сравнения при приемлемом числе витков в каждой секции.

В таком исполнении магнитный компаратор, кроме перечисленных выше применений, может иметь и еще одно: в качестве чувствительного элемента для высокоточных широкодиапазонных систем стабилизации тока.

Ценным качеством рассматриваемого варианта компаратора является возможность непосредственного отсчета величины измеряемого (контролируемого) тока. В самом деле,

$$I = \pm n'_2 I_{\text{эт}1} \pm n''_2 I_{\text{эт}2} \pm \dots$$

где  $I_{\text{эт}1}$ ,  $n'_2$  - соответственно ток первой секции вторичной обмотки и число витков этой секции, через которые этот ток протекает,  $I_{\text{эт}2}$ ,  $n''_2$  - соответственно то же для второй секции вторичной обмотки.

Конструкция магнитного компаратора постоянного тока представлена на рис. 2. Здесь использованы тороидальные ленточные сердечники из пермаллоя, имеющие следующие размеры: наружный диаметр  $D_{\text{н}} = 70$  мм; внутренний диаметр  $D_{\text{вн}} = 50$  мм; высота  $b = 10$  мм. Каждый сердечник заключен в защитный каркас из пластмассы. Модуляционные обмотки  $W_{\text{м}}$  содержат по 450 витков каждая и выполнены из провода ПЭВ-2  $\phi 0,32$  мм (распределены равномерно по длине сердечников).

Магнитный экран собирается из четырех элементов (две одинаковые плоские крышки, навитые из узкой пермаллоевой ленты, и два цилиндрических стакана разного диаметра из широкой пермаллоевой ленты), образующих в сборе полый тороид прямоугольного сечения, в полость которого помещается магнитный модулятор.

Вторичная обмотка компаратора наматывается поверх магнитного экрана, равномерно распределяясь по его длине. Первичная обмотка выполнена в виде одного проходного витка из медной шины соответствующего сечения. Короткозамкнутая обмотка содержит три витка провода ПЭЛШО  $\phi 0,32$  мм.

В изготовленных компараторах реализованы два варианта исполнения вторичной обмотки. В обоих вариантах вторичная обмотка состоит из двух секций.

В первом варианте (рис. 3) секция 1 содержит две изолированные подсекции, имеющие 9 и 990 витков провода ПЭВ-2  $\phi 0,32$  мм. Подсекция, содержащая 9 витков, имеет отводы от каждого витка; подсекция, содержащая 990 витков, имеет 9 отводов сначала от каждого десятого витка, а затем 9 отводов от каждого сотого витка. Через витки секции 1 пропускается ток  $I_a$  от прецизионного стабилизатора тока. С помощью трех переключателей к источнику эталонного тока  $I_a$  может быть подключено любое число витков в пределах от 0 до 990, что позволяет производить

сравнение токов в диапазоне  $0 \div 999$  а с дискретностью 1 а. Секция 2 содержит 99 витков провода ПЭЛШО  $\delta$  0,35 мм и имеет отводы от 1,2,3,.....9 витка, а затем от каждого десятого витка. Через витки этой секции протекает ток 10 ма от стабильного источника тока, что позволяет достичь дискретности сравнения 10 ма.

Во втором варианте (рис. 4) секции 1 и 2 вторичной обмотки состоят каждая из 10 изолированных обмоток, числа витков которых пропорциональны последовательным степеням числа 2 (в нашем случае распределение витков в каждой секции составляет следующий ряд: 1,2,4,8,16,.....512). Через витки секции 1 протекает ток 1,024 а, а через витки секции 2 - 1 ма от высокостабильных источников тока. Диапазон сравнения при этом  $0 \div 1048$  а при дискретности в 1 ма.

Первый вариант исполнения вторичной обмотки компаратора выгоден тем, что обеспечивает возможность (при соответствующем выборе значений эталонных токов) непосредственного отсчета величины контролируемого тока в десятичной системе по положению переключателей отводов вторичной обмотки (при этом, разумеется, положения переключателей должны соответствовать балансу, т.е.  $I W_1 = I_{\text{эт}} W_2$ ). Такой вариант исполнения компаратора удобен для использования в режиме ручной работы.

Второй вариант исполнения вторичной обмотки целесообразно применять в компараторах, предназначенных для работы в сочетании с цифровыми автоматическими устройствами. Здесь обеспечивается отсчет значений контролируемого тока в двоичной системе.

На рис. 5 представлена электронная схема, обслуживающая описанный компаратор. Она содержит модуляционный генератор и фазовый детектор.

Модуляционный генератор состоит из задающего генератора (симметричный мультивибратор на транзисторах Т1 - Т2), делителя частоты (триггер на транзисторах Т3-Т4), двухтактного трансформаторного усилителя мощности (Т6-Т7) и развязывающего эмиттерного повторителя (Т5). Использование триггера в режиме деления частоты позволяет получить необходимое для возбуждения усилителя мощности напряжение прямоугольной формы со стабильной скважностью, равной 0,5. Амплитуда напряжения,

снимаемого с половины обмотки II выходного трансформатора Тр2, равна 25 вольт, частота 380 гц.

Ключевой фазовый детектор собран на транзисторах Т8-Т11. Использование инверсного включения транзисторов в ключах позволяет получить относительно небольшой температурный дрейф нуля детектора. Коммутирующее напряжение прямоугольной формы удвоенной частоты поступает на фазовый детектор от задающего мультивибратора через усилитель-формирователь (Т12).

На рис. 6 приведена полученная экспериментально выходная характеристика магнитного компаратора, представляющая собой зависимость

$$U_{\text{ф.д.}} = f(\Delta I),$$

где  $U_{\text{ф.д.}}$  - напряжение на выходе фазового детектора;  $\Delta I$  - отклонение контролируемого тока от его балансного значения, определяемого равенством  $I = W_2 / W_1 \cdot I_{\text{эт}}$ ;  $\Delta I = I - W_2 / W_1 \cdot I_{\text{эт}}$ . Напряжение на выходе фазового детектора регистрировалось с помощью лампового вольтметра постоянного тока. Временные испытания изготовленных образцов магнитных компараторов показали, что дрейф нуля не превышает  $\pm 1$  ма  $\cdot$  виток.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность Э.К. Батмановой и Л.И. Иванниковой за большую помощь в изготовлении описанных устройств.

#### Приложение

Конструктивные данные трансформаторов схемы рис. 5.

Тр.1. Сердечник: пластины Ш12, толщина пакета 12 мм, пермаллой.

Обмотки: 1 - 300 вит., ПЭВ-2  $\delta$  0,15; 2 - 2 x 100 вит., ПЭВ-2  $\delta$  0,15.

Тр.2. Сердечник: два тороидальных кольца из ленточного пермаллоя,  $D_{\text{н}} = 70$  мм,  $D_{\text{вн}} = 50$  мм,  $b = 10$  мм.

Обмотки: 1 - 2 x 100 вит., ПЭВ-2  $\delta$  0,49; 2 - 2 x 600 вит., ПЭЛШО  $\delta$  0,35.

Тр.3. Сердечник: такой же, как у Тр.1.

Обмотки: 1 - 300 вит., ПЭВ-2  $\phi$  0,15; 2,3 - 200 вит., ПЭВ-2  $\phi$  0,15.

Тр.4. Сердечник: такой же, как у Тр.2.

Обмотки: 1 - 600 вит., ПЭЛШО  $\phi$  0,35; 2 - 2 x 600 вит., ПЭЛШО  $\phi$  0,35.

### Л и т е р а т у р а

1. М.А. Розенблат. Магнетоника. Изд. "Наука", М., 1967.
2. N.L. Kusters, W.J.M. Moore, P.N. Miljanic. IEEE Trans. on Communications on Electronics, 83, 22-27 (1964).
3. M.P. MacMartin, N.L. Kusters. IEEE Trans. on Magnetics, MAG-1, 396-402 (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел  
27 июля 1971 года.

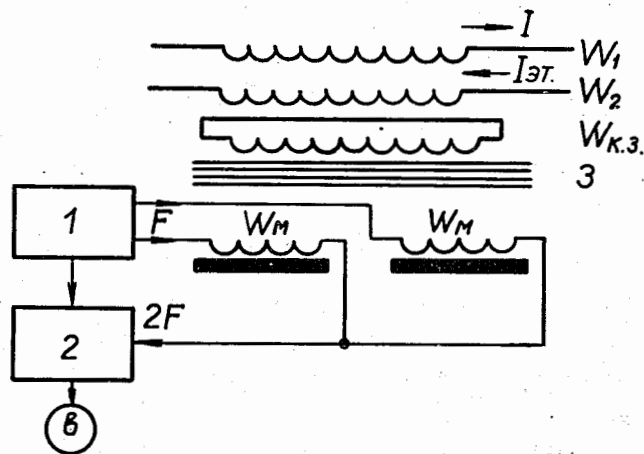


Рис. 1. Блок-схема магнитного компаратора постоянного тока. 1 - модуляционный генератор (генератор прямоугольных импульсов с симметричным выходом на частоте модуляции  $F$ ), 2 - фазовый детектор, 3 - магнитный экран.

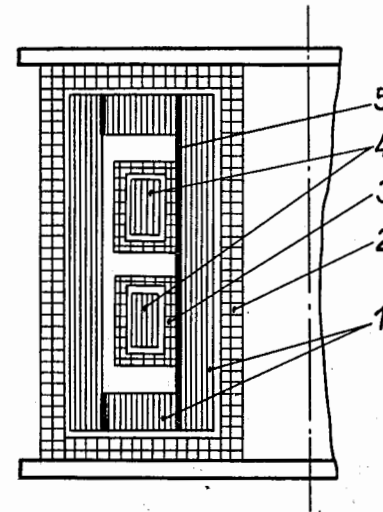
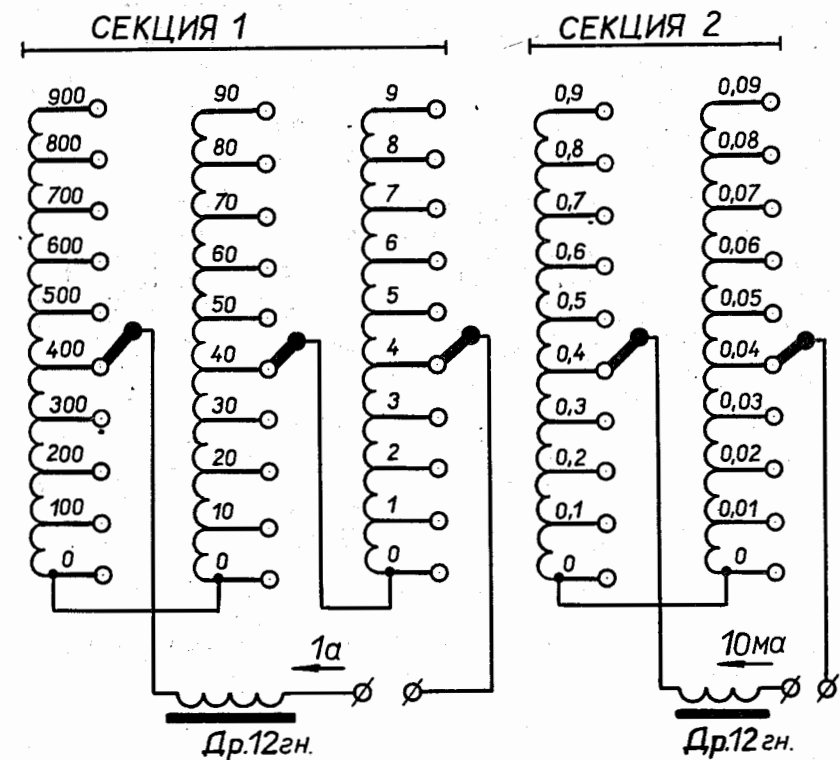
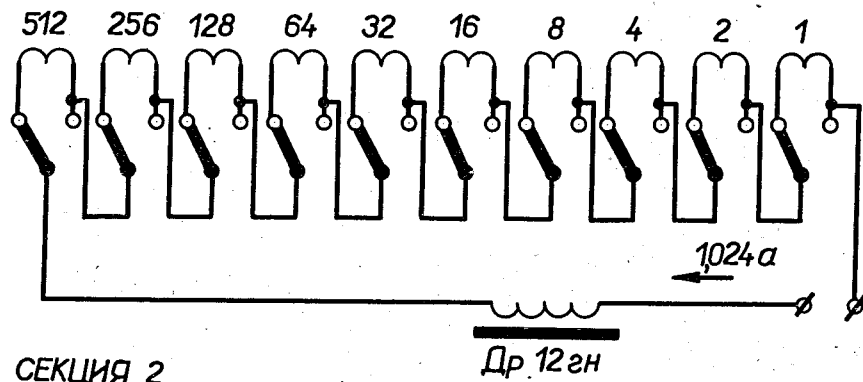


Рис. 2. Конструкция магнитного компаратора постоянного тока. 1 - элементы магнитного экрана, 2 - вторичная обмотка  $W_2$ , 3 - модуляционные обмотки, 4 - сердечники модулятора, 5 - изоляционная прокладка из картона.

Рис. 3. Схема коммутаций для первого варианта исполнения вторичной обмотки компаратора.



СЕКЦИЯ 1



СЕКЦИЯ 2

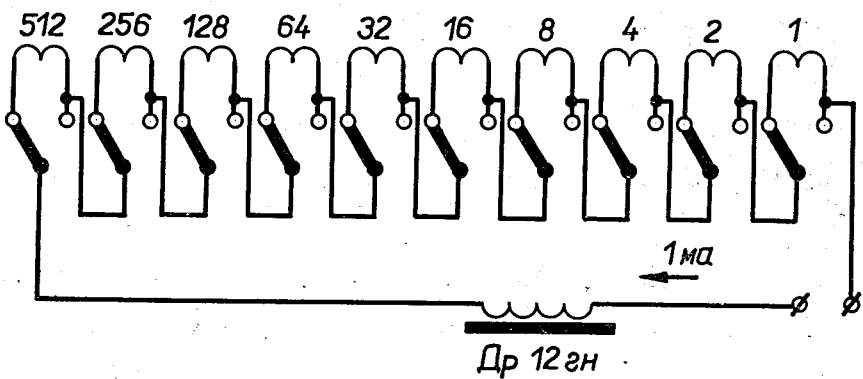


Рис. 4. Схема коммутаций для второго варианта исполнения вторичной обмотки компаратора.

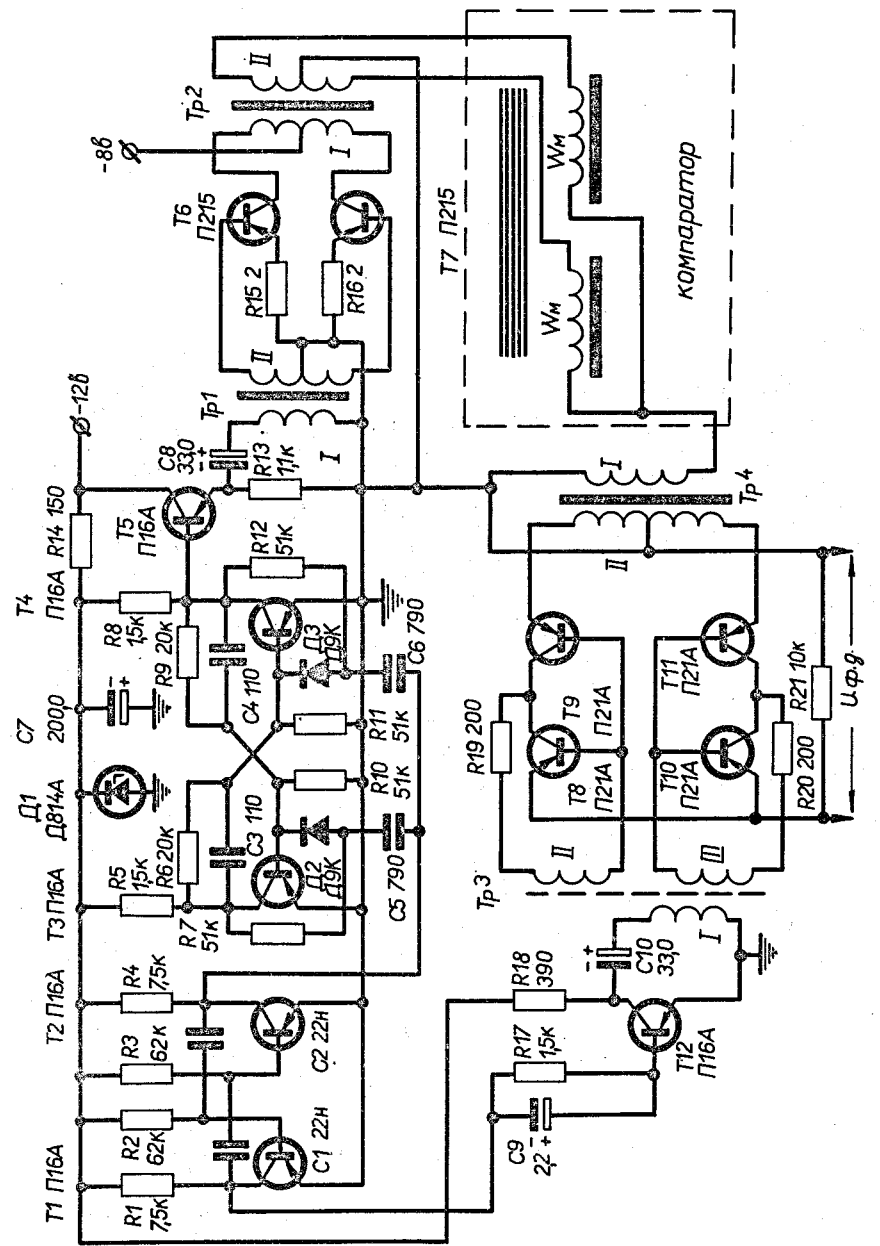


Рис. 5. Модульный генератор и фазовый детектор для работы с компаратором.

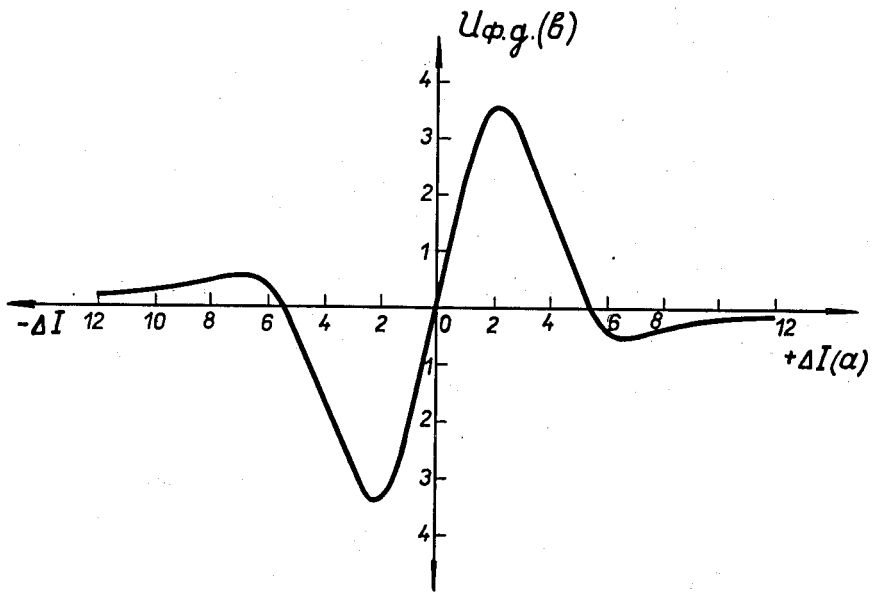


Рис. 6. Выходная характеристика магнитного компаратора постоянного тока.