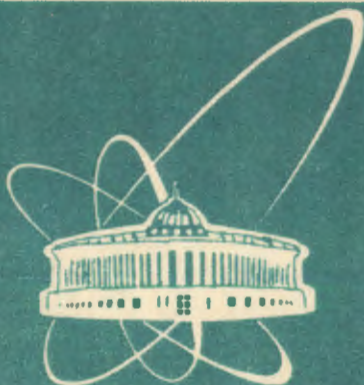


93-177



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P13-93-177

В.В.Калиниченко

КОММУТАЦИЯ СЕКЦИЙ  
КОМПЕНСАЦИОННОЙ ОБМОТКИ  
В МАГНИТНОМ КОМПАРАТОРЕ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА  
С КОМБИНИРОВАННЫМ УРАВНОВЕШИВАНИЕМ

1993

В работе [1] рассмотрен один из вариантов магнитного компаратора (МК) постоянного тока с комбинированным уравниванием. Компенсационная обмотка этого МК выполнена в виде ряда отдельных секций. При этом одна из секций включена в контур авторегулирования (автокомпенсации) МК, а остальные секции подключены к соответствующим выходам коммутатора, вход которого подключен к выходу источника эталонного тока (ИЭТ). Коммутатор обеспечивает включение секций в различных комбинациях в цепь эталонного тока, при этом величина входного сопротивления коммутатора, являющегося нагрузкой ИЭТ, определяется количеством включенных секций компенсационной обмотки. В одном из предельных случаев (отключены все секции) сопротивление нагрузки ИЭТ минимально, а в другом (включены все секции) — максимально. Изменение в широком диапазоне нагрузки ИЭТ является нежелательным дестабилизирующим фактором.

Вопросы коммутации секций компенсационной обмотки МК обсуждались в работе [2]. В этой работе был рассмотрен относительно простой коммутатор, упрощенная блок-схема которого приведена на рис.1 (здесь не показаны элементы управления, контроля и т.д.). В качестве ключей в коммутаторе могут быть использованы механические или бесконтактные

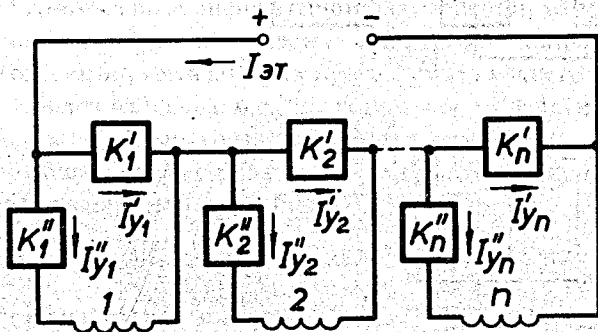


Рис.1. Упрощенная блок-схема коммутатора с отключением секций компенсационной обмотки

ключи. Из-за общеизвестных недостатков механических ключей их использование на практике допускается лишь в коммутаторах для МК с ручным управлением. Однако использование бесконтактных ключей в данной структуре коммутатора приводит к ограничению функциональных возможностей МК. МК с таким коммутатором является однополярным измерителем, так как не обеспечивается изменение полярности эталонного тока в секциях компенсационной обмотки. В случае использования механических ключей этот недостаток легко устраняется путем изменения полярности включения ИЭТ при изменении полярности измеряемого тока.

В работе [3] предложена структура коммутатора для МК, свободная от указанных недостатков. Упрощенная блок-схема этого коммутатора показана на рис.2 (не показаны элементы управления, контроля и др.). Коммутатор содержит  $N$  ячеек (для упрощения на рис.2 показаны только первая и  $N$ -я ячейки). К выходам ячеек подключены соответствующие секции компенсационной обмотки. Каждая ячейка коммутатора содержит четыре ключа (например, ключи  $K1-1 \dots K1-4$  для первой ячейки), соединенные по схеме моста.

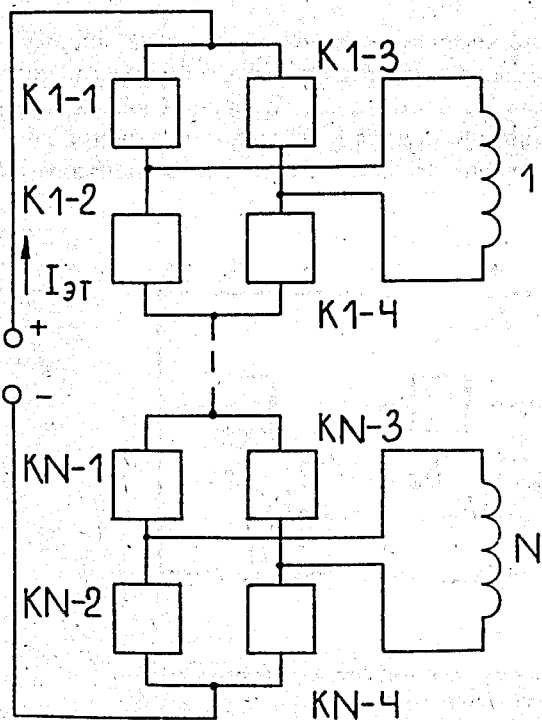


Рис. 2. Упрощенная блок-схема коммутатора с изменением направления тока в секциях компенсационной обмотки

Отметим, что данный коммутатор в целом характеризуется более высокими суммарными потерями напряжения на ключах, так как количество ключей, включенных в цепь эталонного тока, здесь в два раза больше, чем в коммутаторе на такое же количество выходов по схеме рис.1. Это приводит к увеличению мощности ИЭТ.

Рассмотрим работу ячейки коммутатора, например первой. При замыкании ключей  $K1-2$  и  $K1-4$  (ключи  $K1-2$  и  $K1-3$  при этом обязательно разомкнуты) ток от ИЭТ протекает по секции 1 компенсационной обмотки от ее верхнего (по схеме) вывода к нижнему. При замыкании ключей  $K1-1$  и  $K1-3$  (ключи  $K1-2$  и  $K1-4$  при этом обязательно размыкаются) ток от ИЭТ протекает по первой секции компенсационной обмотки в обратном направлении (от нижнего вывода к верхнему). Аналогично работают и все остальные ячейки коммутатора. Состояние любой ячейки коммутатора, определяющее направление тока в подключенной к ее выходу секции компенсационной обмотки, задается блоком управления (на блок-схеме рис.2 не показан).

В структуре по схеме рис.2 при ее нормальной работе ток от ИЭТ протекает по всем секциям компенсационной обмотки. В общем случае в одной части секций ток имеет направление от верхнего вывода к нижнему, а в другой — от нижнего к верхнему. В крайних случаях ток во всех секциях имеет направление от верхнего вывода к нижнему или наоборот — от нижнего вывода к верхнему.

Намагничивающая сила (н.с.), создаваемая любой секцией компенсационной обмотки, имеет направление, соответствующее направлению протекающего по ней эталонного тока  $I_{эт}$ . А так как намотка всех секций компенсационной обмотки выполнена в одном направлении, то секции с одинаковым направлением тока создают одинаково направленные н.с. Условимся, что секции, ток в которых протекает от верхнего вывода к нижнему, создают положительные н.с., а секции, ток в которых протекает от нижнего вывода к верхнему, создают отрицательные н.с.

Результирующая н.с.  $F$ , создаваемая  $N$  секциями компенсационной обмотки, может быть представлена в виде

$$F = \pm I_{эт} W_1 \pm I_{эт} W_2 \pm \dots \pm I_{эт} W_{N-1} \pm I_{эт} W_N \quad (1)$$

где  $I_{эт}$  — номинальное значение тока ИЭТ,  $W_1, W_2, \dots, W_{N-1}, W_N$  — соответственно число витков первой, второй ...  $(N-1)$ -й и  $N$ -й секции компенсационной обмотки. Знаки "плюс" или "минус" перед членами выражения для н.с.  $F$  определяются состояниями соответствующих ячеек коммутатора. Состояние ячеек коммутатора, как уже отмечалось, задается блоком управления. Соотношение (1) можно представить в виде

$$F = I_{\text{эт}} (W' - W''), \quad (2)$$

где  $W'$  — общее (суммарное) число витков секций, создающих положительные н.с.,  $W''$  — общее число витков секций, создающих отрицательные н.с., при этом всегда  $W' + W'' = W_K$ . Изменяя соответствующим образом с помощью коммутатора направление тока в секциях, можно изменять (регулировать) н.с.  $F$  в диапазоне от  $-I_{\text{эт}} W_K$  ( $W'' = 0$ ) до  $+I_{\text{эт}} W_K$  ( $W' = 0$ ). Дискретность регулирования н.с.  $F$  составляет  $2W_0 I_{\text{эт}}$ , где  $W_0$  — дискретность переключения витков компенсационной обмотки.

Рассмотрим работу известного [1] МК с комбинированным уравниванием (его блок-схема представлена на рис.3 в настоящей работе) при условии, что коммутатор секций компенсационной обмотки выполнен по схеме рис.2. МК содержит следующие узлы: 1 — генератор возбуждения с выходами основной ( $F_B$ ) и удвоенной ( $2F_B$ ) частот, 2 — фазочувствительный

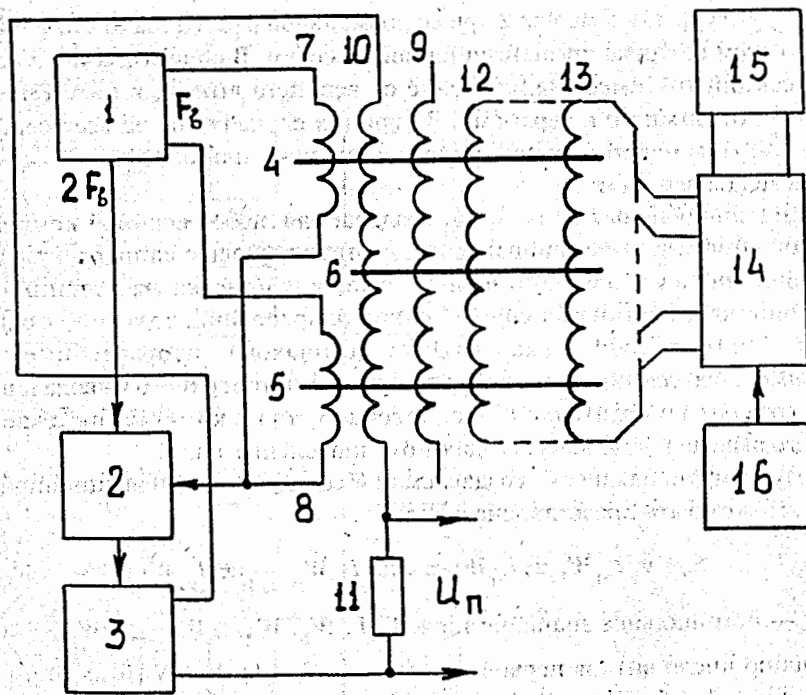


Рис. 3. Упрощенная блок-схема магнитного компаратора с комбинированным уравниванием

детектор, 3 — усилитель постоянного тока (УПТ), 4 и 5 — рабочие магнитопроводы, 6 — экранирующий магнитопровод, 7 и 8 — обмотки возбуждения, 9 — измерительную обмотку, 11 — эталонный резистор, 14 — коммутатор секций компенсационной обмотки, 15 — источник эталонного тока (ИЭТ), 16 — блок управления коммутатором 14. Здесь же отметим, что обсуждаемый МК может быть использован в системах измерения и стабилизации постоянных токов большой силы. Для этого в МК должны быть введены средства, обеспечивающие (в соответствии с его назначением) управление коммутатором, съем информации о состоянии коммутатора, измерение выходного напряжения МК и др. Эти вопросы в данной работе обсуждаться не будут.

Обсуждаемый МК содержит замкнутую систему автоматического регулирования, действие которой направлено на поддержание баланса н.с. постоянных токов, действующих на магнитный модулятор [1]. Ввиду малости действующего рассогласования в контуре авторегулирования его величины можно пренебречь, тогда состояние баланса н.с. может быть записано в виде

$$IW_{\text{и}} - F + I_c W_c \approx 0, \quad (3)$$

где  $I$  — измеряемый ток,  $W_{\text{и}}$  — число витков измерительной обмотки 9,  $I_c$  — выходной ток УПТ 3,  $W_c$  — число витков секции 10. Значение н.с.  $F$  определяется соотношением (2) и, как отмечалось выше, н.с.  $F$  может изменяться в диапазоне от  $-I_{\text{эт}} W_K$  до  $+I_{\text{эт}} W_K$ . Поэтому обсуждаемое устройство обеспечивает измерение токов любой полярности (от  $-I_{\text{ном}}$  до  $+I_{\text{ном}}$ ). Измеряемый ток  $I$  определяется как

$$I \approx I_{\text{эт}} (W' - W'') / W_{\text{и}} - KU_{\text{п}}, \quad (4)$$

где  $U_{\text{п}}$  — выходное напряжение МК,  $K = W_c / R_{\text{эт}} W_{\text{и}}$ ,  $R_{\text{эт}}$  — номинальное значение эталонного резистора 11.

Предельное значение относительной погрешности  $\delta$  измерения тока для устройства по блок-схеме рис.3 может быть найдено из соотношения (при выполнении условий:  $-2I_{\text{эт}} W_0 \leq I_c W_c \leq 2I_{\text{эт}} W_0$  и  $|W' - W''| \gg W_0$ )

$$\delta = \delta_I + 2(\delta_U + \delta_R) W_0 / (W' - W'') I,$$

где  $\delta_I$  — относительная погрешность источника эталонного тока 15,  $\delta_U$  — относительная погрешность измерения выходного напряжения  $U_{\text{п}}$ ,  $\delta_R$  —

относительная погрешность определения сопротивления эталонного резистора  $11$ .

Для рассматриваемого МК относительная погрешность  $\delta$  измерения тока  $I$  определяется в основном относительной погрешностью  $\delta_I$  источника эталонного тока, так как при  $|(W' - W'')| \gg W_0$  влияние погрешностей  $\delta_U$  и  $\delta_R$  существенно ослабляется.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Калиниченко В.В. — Сообщение ОИЯИ Р13-93-166, Дубна, 1993.
2. Калиниченко В.В. — Сообщение ОИЯИ 13-8157, Дубна, 1974.
3. Калиниченко В.В. — Заявка на изобретение № 4949209/07 от 24.06.1991. Положительное решение от 31.01.1992.

Работа поступила в издательский отдел  
20 мая 1993 года.